DEREK J. DE SOLLA PRICE

ȘTIINȚĂ MICĂ, ȘTIINȚĂ MARE

EDITURA ȘTIINȚIFICĂ

TRADUCEREA DE P. TEODORU ŞI D. IORDAN

DEREK J. DE SOLLA PRICE

Ştiinţă mică, ştiinţă mare

EDITURA ŞTIINŢIFICĂ
Bucureşti, 1971

Coperta de Dumitru Ionescu

Derek J. de Solla Price
LITTLE SCIENCE, BIG SCIENCE
©Columbia University Press, 1963

Cuvînt înainte

În cursul dezvoltării ei, știința, așa cum o concepem în prezent, a servit nu numai la o mai profundă cunoaștere a naturii, dar a exercitat o influență crescîndă asupra producției materiale, asupra economiei și societății în general. Influența aceasta multilaterală a științei, analizată în secolele trecute de filozofi, a devenit în zilele noastre precumpănitoare pentru prezentul și mai ales viitorul omenirii. Cu toții simțim revoluția științifică și tehnică actuală, cu toții dorim ca efectele ei să fie numai favorabile.

În această situație unii oameni de știință au început să analizeze metodele, efectele și legitățile dezvoltării științei. John Bernal a propus inițierea unei științe despre știință. Apelul său a fost urmat de mulți discipoli și colegi. Dacă s-ar face o anchetă mondială pentru desemnarea unui urmaș al lui, atunci cu siguranță că între primii numiți s-ar găsi și Profesorul Derek de Solla Price, autorul acestei cărți, datorită activității sale îndelungate și rodnice pe acest tărîm.

Pentru a înțelege mai ușor genul său particular de a studia global știința în mersul ei înainte, să dăm cîteva date biografice.

Născut în Anglia, tînărul D. Price a studiat întîi fizica, apoi istoria și filozofia științei la Universitatea din Cambridge, unde și-a început cariera universitară în anii 1952—1956. A urmat o perioadă de pelegrinaje în Danemarca, în Malaezia și la Singapoore unde a

stat 3 ani. De acolo a fost chemat la celebra Universitate Yale din New Haven, Statele Unite, unde este și în prezent profesor, șef de catedră și Director al Departamentului pentru istoria științei și medicinei.

Pasionat cercetător al izvoarelor și relicvelor științei antice, colecționar al unor vechi instrumente științifice, posedă personal o bibilotecă bogată despre istoria științei și tehnicii. Cursurile sale sînt urmărite cu mare interes de studenți, atît la Yale cît și la alte universități unde este frecvent invitat. Participă la toate manifestările internaționale importante privind istoria și dezvoltarea științei.

A vizitat țara noastră de două ori, în anul 1970, o dată ca invitat al Academiei R.S. România, pentru o conferință ținută în cadrul Centrului de documentare științifică al Academiei R.S. România (care nu va putea fi curînd uitată de auditoriu), a doua oară în trecere de la Congresul de logică a științei, ținut la Varna.

Meritul cel mai mare al profesorului Price nu este atît culegerea de date despre toate aspectele științei, ci depistarea acestor date în literatura de specialitate și interpretarea lor magistrală. Urmărind ritmul de dezvoltare a științei, măsurat prin creșterea numărului de cadre și a producției științifice (numărul de articole apărute), el a reușit să descopere legitățile acestor creșteri și să deducă din ele pe cele ale influenței științei asupra politicii, economiei și cadrelor științifice.

Demonstrînd că ritmul de creștere al științei este exponențial, deci cu rată anuală constantă, dar mai mare decît al populației și chiar al economiei, profesorul Price definește *Știința mare* nu prin vreun fenomen exploziv, ci de fapt prin acea mutație care apare atunci cînd o creștere continuă a unei activități începe să frîneze celelalte activități și forțat

trebuie să se ajungă la o tendință de saturație. Știința mare intră în conștiința întregii populații prin influențele majore pe care le exercită pe toate planurile de activitate.

Concluziile ce rezultă pentru structura nouă a științei, pentru relațiile dintre oamenii de știință, pentru producția și productivitatea în activitatea de cercetare sînt remarcabile și stîrnesc un interes general, incluzînd pe cel al forurilor responsabile pentru făurirea unei politici științifice juste.

Prezenta broșură, împreună cu una anterioară, intitulată *Science since Babylon* (Știința de la Babilon încoace), prezintă sintetic rezultatele unor cercetări cuprinzătoare, din care reiese clar efortul autorului de a introduce metode obiective, matematizabile, în evaluarea globală a dezvoltării științei și efectelor ei. Cartea trebuie și merită să fie citită de orice intelectual, precum și de cei care lucrează în domenii conexe cu știința. Desigur unele dintre părerile exprimate de către autor sînt influențate de relațiile socio-economice ale mediului respectiv și trebuie privite cu necesara rezervă de către cititor. Formulările matematice se fac în mare parte în subsol, deci fără a compromite fluența textului. Figurile înlesnesc urmărirea legităților descoperite de autor.

Încă o avertizare. Stilul autorului nu este de loc ermetic, dar are o topică particulară, ceea ce îngreuiază considerabil traducerea. Poate că acest mod de exprimare personal se va simți de cititor, dar nu în dezavantajul operei, care rămîne remarcabilă.

ACAD. A. AVRAMESCU

Conferințele „George B. Pegram"

Știința joacă un rol atît de important în lumea contemporană, încît trebuie folosit orice prilej, care se prezintă, pentru o evaluare judicioasă a interacțiunii dintre știință și celelalte aspecte ale societății noastre.

În acest scop conducătorii instituției *Trustees of Associated Universities Inc.* au instituit ciclurile anuale de conferințe *George B. Pegram* care se țin la *National Laboratory* din Brookhaven. Fiecare ciclu de conferințe durează aproximativ două săptămîni, în care timp conferențiarul locuiește în această instituție. Acest aranjament îi dă omului de știință multe prilejuri de contacte oficiale și neoficiale și îl eliberează de alte îndatoriri.

Ciclurile de conferințe au primit denumirea arătată mai sus pentru cinstirea lui George Braxton Pegram (1877—1958), unul din cei mai influenți oameni de știință din epoca nucleară. Profesor de fizică, el a fost decan și vicepreședinte al Universității Columbia. În 1946 a condus „Grupul Universitar de Inițiere" *(Initiatory University Group)* care a propus înființarea unui centru regional de cercetări în științele nucleare în zona orașului New York, centru care a avut un rol cheie în înființarea lui *Associated Universities Inc.* și în fondarea lui *Brookhaven National Laboratory.* A primit multe distincții și titluri onorifice pentru servicii remarcabile în domeniul fizicii, ultima dintre ele fiind medalia de aur *Karl Taylor Compton.* Mintea lucidă și amabilitatea lui George B.

Pegram vor dăinui multă vreme în amintirea acelora care l-au cunoscut. Aceste cicluri de conferinţe în cinstea lui au fost organizate pentru promovarea convingerii sale că rezultatele ştiinţei pot fi puse în slujba nevoilor şi speranţelor omenirii.

Conferenţiarii de pînă acum din ciclul conferinţelor *Pegram* au fost oameni de ştiinţă distinşi care, fiecare din punctul său deosebit de vedere, au cercetat impactul ştiinţei şi al oamenilor de ştiinţă asupra societăţii. Profesorul Derek J. de Solla Price de la Universitatea Yale, al patrulea conferenţiar din acest ciclu de conferinţe, este un binecunoscut istoric al ştiinţei, care într-un anumit sens a preferat să privească reversul medaliei. Conferinţele sale, ţinute între 19 şi 29 iunie 1962, s-au ocupat de însăşi sociologia ştiinţei. Aplicînd metodele ştiinţifice la investigarea creşterii rapide a ştiinţei, a rolului schimbător al publicaţiilor ştiinţifice şi al evoluţiei organizaţiilor ştiinţifice, Dr. Price prezintă o analiză fascinantă a problemelor care se situează în centrul vieţii oamenilor de ştiinţă contemporani. Dubla sa pregătire, ca fizician şi istoric, îi conferă o calificare unică pentru sarcina pe care şi-a asumat-o.

Comitetul de conferinţe „Pegram" din 1962

George B. Collins
Herbert J. Kouts
Irving J. Polk
Henry Quastler
James S. Robertson
Gerhart Friedlander, Preşedinte.

Prefață

Misiunea Conferențiarilor ciclului „Pegram" este de a se preocupa de știință și de locul acesteia în societate. În mod obișnuit, aceasta se poate realiza fie prin expuneri de știință popularizată, fie prin adoptarea unuia din diferitele stiluri folosite în discuțiile umanistice cu privire la raporturile dintre oameni și știință. Conferențiarii care m-au precedat în această serie de conferințe au înfățișat conținutul științei spațiale și au făcut incursiuni în filozofia și istoria științei. Deși din punct de vedere profesional preocupările mele sînt legate de istoria științei, posed un anumit trecut „preistoric" de fizician și aceasta m-a determinat să tratez aceste conferințe, poate, într-un mod cu totul deosebit.

Țelul meu nu este de a discuta conținutul științei și nici chiar de a face o analiză umanistică a relațiilor acesteia. Doresc mai curînd să lămuresc acele abordări, mai obișnuite, care tratează în mod separat toate analizele științifice ce pot fi efectuate asupra științei. De ce oare să nu îndreptăm instrumentele științei către știința însăși? De ce să nu măsurăm și să nu generalizăm, să nu emitem ipoteze și să nu tragem concluzii?

În conferințele care au pornit inițial de la o instituție atomică atît de importantă cum este Brookhaven, nu ar avea sens să se explice modul în care știința a devenit o parte crucială și foarte costisitoare a activității omului. În cursul acestei evoluții, știința și-a

însușit un număr mare de elemente de administrare, organizare și de politică. Acestea au evoluat, în cea mai mare parte, pornind de la o bază empirică *ad hoc*. Faptul că această situație nu a fost apreciată suficient din punct de vedere umanist, constituie pentru mine o preocupare aproape permanentă. În cursul acestor conferințe îmi voi exprima îngrijorarea că noi nu am analizat suficient de științific un întreg ansamblu de legități, care pot fi disecate înainte de a începe să ne ocupăm în mod umanistic de acele abateri care survin datorită faptului că oamenii sînt oameni și nu mașini.

Metoda mea de abordare va fi de a trata statistic, dar fără a recurge prea mult la matematică, problemele generale ale formei și dimensiunii științei și ale regulilor de bază care guvernează creșterea și comportamentul științei în general. Cu alte cuvinte, nu voi discuta nici amănuntele descoperirilor științifice sau ale folosirii și ale interrelațiilor lor. Nu voi discuta nici chiar despre anumiți oameni de știință. Tratînd știința mai curînd ca pe o entitate ce poate fi măsurată, mă voi strădui să prezint un calcul al forței de muncă, literaturii, talentului și al cheltuielilor pentru știință pe scară națională și internațională. Pe baza unui asemena calcul nădăjduiesc să analizez care este elementul esențialmente nou în epoca prezentă a *Științei mari* și care o deosebește de stadiul anterior al *Științei mici*.

Metoda folosită este asemănătoare aceleia din termodinamică, în care se discută comportamentul unui gaz în condiții variate de temperatură și presiune. Nu ne fixăm privirea asupra unei anumite molecule, numită George, care se deplasează cu o anumită viteză și care se află într-un anumit loc la un moment dat; vom considera numai o medie a întregii alcătuiri în

care unele molecule sînt mai rapide decît altele şi în care ele sînt distanţate la întîmplare, mişcîndu-se în diferite direcţii. Pa baza unei asemenea medii impersonale se pot spune lucruri utile despre comportamentul gazului[1] luat ca un tot şi tocmai acesta este modul în care doresc să mă ocup de analiza ştiinţei ca un tot.

Potrivit acestei metafore, prima mea conferinţă este consacrată volumului ştiinţei, a doua distribuţiei vitezei moleculelor sale, a treia modului de interacţiune dintre molecule şi a patra deducerii proprietăţilor politice şi sociale ale acestui gaz.

DEREK J. DE SOLLA PRICE

New Haven
noiembrie, 1962

[1] Trebuie reţinut că cuvîntul *gaz* derivă din grecescul *Khaos*, care este chiar termenul general pentru haos.

Prefață la ediția românească

În mai 1970, la invitația președintelui Miron Nicolescu și a academicianului dr. Aurel Avramescu, am avut onoarea să prezint în cadrul Academiei Republicii Socialiste România unele probleme privind informarea științifică. Cu această ocazie am fost foarte plăcut impresionat să constat interesul viu față de această problemă și, în afară de aceasta, cunoașterea aprofundată a domeniului mai general al studiului științific privind dezvoltarea și structura științei. Acest domeniu, cunoscut în diferite țări sub diferite denumiri caracteristice — *nauka nauki* (știința științelor), *science policy studies* (studii de politică științifică), *politique scientifique* (politică științifică), *Wissenschaftstheorie* (teoria științei), *scientica* etc. are tot atîtea variante conceptuale cîți practicieni.

În pofida acestor diferențe, el apare totuși din ce în ce mai pregnant ca un domeniu de cercetări la nivelul cel mai înalt. În trecut, cartea despre John Bernal este aceea care m-a inspirat și m-a condus la lucrarea de față, care nădăjduiesc că a adus, la rîndul său, o contribuție modestă la demonstrarea faptului că în afara problemelor de politică în organizarea științei există și o problemă complicată și dificilă de erudiție. În ce mă privește, consider că tema acestei cărți are exact aceleași relații cu știința pe care teoria economică le are cu structura financiară a unui stat.

Poate că nicăieri politica științifică și teoria acesteia nu sînt mai vitale ca într-o țară socialistă și într-o țară

mică. Există mari posibilități de planificare și posibilități și mai mari fie pentru succese decisive, fie pentru erori cu totul fatale.

În ediția de față, la capitolele din ediția inițială au fost adăugate două studii, inițial distincte, unul consacrat tratării mai generale a problemelor celor mai recente de desfășurare a resurselor și celălalt distribuției științei în localitățile mari și mici. Ele reiau și susțin lucrarea inițială completînd-o cu date noi și interesante.

DEREK J. DE SOLLA PRICE

București
august, 1970

Mulțumiri

Îmi exprim recunoștința pentru imboldul și ajutorul acordat de studenții postuniversitari la seminariile mele de la Universitatea Yale, pentru munca și devotamentul asistentei mele de cercetări, domnișoara Joy Day și pentru neobosita vigilență literară a bunului meu prieten David Klein. De asemenea, datorez mulțumiri d-lui Asger Aaboe pentru întocmirea și forma de prezentare a multor grafice. Mai sînt îndatorat editurii „Yale University Press" pentru permisiunea de a reproduce unele figuri din lucrarea *Science since Babylon*[1], pe care am publicat-o la această editură în 1962; editurii „McGraw-Hill Book Company" pentru permisiunea de a reproduce graficul privitor la dezvoltarea acceleratorilor de particule din lucrarea *Particle Accelerators* de M. S. Livington și J. P. Blewett; editurii „Addison-Wesley Publishing Company" pentru graficul privitor la creșterea orașelor din lucrarea lui G. K. Zipf, *Human Behavior and the Principle of Least Effort*[2] și editurii „Cambridge University Press" pentru permisiunea de a folosi o adaptare a unei figuri din lucrarea lui D'Arcy W. Thompson, *Growth and Form*[3].

Pentru ultimele două capitole trebuie să aduc mulțumiri Academiei Israeliene de Științe și Umanism

[1] ***Știința de la Babilon încoace.***

[2] **Comportamentul uman și principiul efortului minim.**

[3] **Creștere și formă.**

și editurii „Columbia University Press“ pentru permisiunea de a le publica în cadrul lucrării de față.

Capitolul 5 a fost publicat inițial în „Proceedings of the Israel Academy of Sociences and Humanities“ (vol. IV, nr. 6/1969), iar capitolul 6 a fost reprodus din „Journeys in Science: Small Steps-Great Strides“, editura „David L. Arm, The University of New Mexico Press“, 1967.

How big are you, baby?
Why, don't you know,
You're only so big,
And there is still room to grow

(NURSERY RHYME

Copile, cît te-ai învățat?
Cum, nu știi oare,
Că ești în ani atît de-naintat,
Încît să crești abia acum începi

(VERSURI PENTRU COPII)

(1)

Prolog la o știință a științei

În timpul unei întruniri la care un număr de mari fizicieni urmau să prezinte dări de seamă inedite asupra descoperirilor lor epocale, președintele a deschis ședința cu remarca: „Astăzi avem privilegiul să stăm alături de uriașii pe ai căror umeri sîntem așezați"[1]. Această remarcă exemplifică pe scurt particularitatea științei de a fi actuală[2], recunoașterea faptului că o proporție atît de mare a tot ce este știință și care a existat vreodată există astăzi și este prezentă în memoria oamenilor încă în viață. Cu alte cuvinte, în cadrul oricărei definiții rezonabile a omului de știință,

[1] Gerald Holton, *On the recent past of physics* (Cu privire la trecutul recent al fizicii) în „American Journal of Physics", 29 (decembrie 1961), p. 805. Doresc să atrag atenția asupra studiului remarcabil publicat în timp ce se elabora această lucrare: Gerald Holton, *Models for Understanding the Growth and Excellence of Scientific Research* (Modele pentru înțelegerea creșterii și perfecțiunii cercetării științifice), în ediția S. R. Graubard și G. Holton, *Excellence and Leadership in a Democracy* (Perfecțiunea și conducerea într-o democrație) New York, Columbia University Press, 1962, pp. 94—131, inițial publicată sub titlul *Scientific Research and Scholarship, Notes towards the Design of Proper Scales* (Cercetare științifică și erudiție: note pentru proiectarea unor scale adecvate), în „Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences" 91 (nr. 2), pp. 362—99 (Daedalus, martie 1962). În lucrare folosesc mult această ultimă publicație, deși autorul său și cu mine nu sîntem întotdeauna cu totul de acord cu privire la concluziile pe care le tragem din datele statistice.

[2] În original se folosește termenul „immediacy". *(N. T.).*

se poate spune că 80 pînă la 90 la sută din toți oamenii de știință, care au trăit vreodată, sînt în viață și în prezent. Sau, altfel spus, orice om de știință tînăr care își începe activitatea acum și care la capătul carierei sale va privi în urmă de-a lungul unei durate normale de viață, va descoperi că 80 pînă la 90 la sută din întreaga muncă științifică realizată pînă la sfîrșitul acestei durate va fi avut loc sub propriii săi ochi și că numai 10 pînă la 20 la sută va fi fost anterioară propriei sale experiențe.

Această „imediatitate" este o caracteristică atît de puternică și dominantă a științei, încît ea se găsește la rădăcina multor atitudini adoptate de oamenii de știință și de profani față de știința modernă. Această caracteristică este aceea care face ca știința să pară esențialmente modernă și contemporană. În calitatea mea de istoric al științei, constat că an de an duc o luptă pentru a justifica și a susține practica consacrării a mai mult de jumătate din timpul nostru perioadei anterioare lui Newton, în timp ce orice om de știință contemporan știe că ceea ce contează cu adevărat este știința de la Einstein încoace.

Dat fiind că știința de care dispunem în prezent depășește atît de mult tot ce a avut loc în trecut, evident am intrat într-o nouă epocă, care a fost curățită de toate tradițiile, cu excepția tradițiilor fundamentale ale epocii vechi. Nu numai că manifestările aparaturii științifice moderne sînt atît de monumentale încît ele au fost comparate, pe drept cuvînt, cu piramidele Egiptului și cu marile catedrale ale Europei medievale, dar cheltuielile naționale de forță de muncă și fondurile destinate științei au transformat-o dintr-o dată într-un segment major al economiei noastre naționale. Carac-

teristica dimensiunii mari a științei moderne — nouă, strălucitoare și atotputernică — este atît de evidentă încît pentru descrierea ei s-a făurit termenul fericit de „Știință mare"[3]. *Știința mare* este atît de nouă încît mulți dintre noi își pot aminti de începuturile ei. *Știința mare* este atît de întinsă încît mulți dintre noi încep să fie îngrijorați, chiar numai de masa monstrului pe care l-au creat. *Știința mare* este atît de deosebită de starea anterioară a lucrurilor încît putem privi în urmă, poate nostalgic, către *Știința mică,* care constituia în trecut modul nostru de viață.

Pentru a înțelege modul în care trebuie să trăim și să muncim în epoca de curînd născută, este limpede că trebuie să apreciem natura tranziției de la *Știința mică* la *Știința mare.* Este prea ușor să dramatizăm schimbările și să observăm deosebirile cu o naivitate nepăsătoare. Dar cît de adevărată este imaginea *Omului de Știință mică,* care este înfățișat ca un geniu singuratic cu plete lungi, care se trudește într-o încăpere de lucru de la mansardă sau de la subsol, este disprețuit de societate ca un nonconformist și trăiește într-o stare de evasisărăcie, însuflețit de flacăra lui lăuntrică? Și ce putem spune de imaginea corespunzătoare a *Omului de Știință mare?* Nu este el oare cinstit la Washington, căutat de toate asociațiile de cercetare

[3] Alvin M. Weinberg, *Impact of Large-Scale Science on the United States* (Impactul științei pe scară largă asupra Statelor Unite) în „Science" 134, 21 iulie 1961, p. 164. Datorez multe idei articolului susmenționat. A se urmări și alte comentarii ale lui Weinberg în *The Federal Laboratories and Science Education* (Laboratoarele federale și învățămîntul științific), „Science", 136, 6 aprilie 1962, p. 27.

situate pe „Boston ring road"[4], nu face el parte dintr-o fraternitate a unei elite intelectuale de colaboratori influențînd destinele politice, precum și pe cele tehnologice? Și care a fost temeiul acestei schimbări — a fost oare o reacție publică promptă față de prima explozie atomică și față de primele șocuri resimțite de națiune din cauza rachetelor militare și a sateliților? S-au întîmplat oare toate acestea atît de repede, fără a avea rădăcini istorice, mai adînci în timp decît Proiectul Manhattan[5], rachetele de la Cape Canaveral, descoperirea penicilinei, invenția radarului și a calculatoarelor electronice?

Cred că la toate aceste întrebări se poate răspunde cu un *Nu* categoric. Imaginile sînt concepute prea naiv, iar tranziția de la *Știința mică* la *Știința mare* a fost mai puțin dramatică și mai treptată decît s-ar părea la prima vedere. În tot cazul, este limpede ca *Știința mică* conținea multe elemente ale „grandiosului". Și este probabil că *marea Știință* modernă conține, dosite în unghere academice, fapte nebăgate în seamă ale unor pionieri necunoscuți, care constituie direcții de cercetări, ce vor fi de importanță hotărîtoare în jurul anului 1975. Este o rară excepție — și nu regulă — ca descoperirile epocale să fie anunțate la nașterea lor ca o operă importantă efectuată de oameni importanți.

Istoria a înregistrat numeroase eforturi naționale importante: marile observatoare, ca observatorul lui Ulugh Beg din Samarkand în secolul al cincisprezecelea, al lui Tycho Brache de pe insula Hven în secolul al șaisprezecelea și al lui Jai Singh din India în secolul al

[4] Șoseaua circulară din Boston (*N. T.*).

[5] Proiectul Manhattan a fost denumirea codificată a fabricării primei bombe atomice (*N. T.*).

şaptesprezecelea, fiecare dintre ele absorbind o fracţiune destul de mare din resursele disponibile ale naţiunilor respective. Ca eforturi internaţionale pot fi semnalate expediţiile gigantice ale secolului al optsprezecelea pentru observaţiile trecerilor planetei Venus. Iar ca aparatură pe scară mare au existat maşinile electrice uriaşe produse mai ales în Olanda, în secolul al optsprezecelea, maşini care la timpul lor păreau că extind capacitatea ştiinţifico-tehnologică a omului pînă la ultima sa limită şi că îi conferă puterea de a fabrica forţele fizice cele mai extreme ale universului, rivalizînd cu însuşi trăznetul şi în stare să furnizeze poate chiar o cheie pentru a descoperi natura materiei şi a vieţii însăşi. Într-un anumit sens, visurile noastre cu privire la acceleratoarele moderne pălesc prin comparaţie.

Dar să nu ne lăsăm abătuţi din calea noastră de către istorie. Ceea ce ne va preocupa nu este atît de mult prezentarea de contraexemple pentru a arăta că uneori *Ştiinţa mică* a fost mare şi că *Ştiinţa mare* a fost mică, ci mai curînd demonstraţia că schimbările care au survenit au fost izbitor de treptate. În acest scop trebuie să începem analiza ştiinţei procedînd la măsurători şi în acest caz este chiar mai greu ca de obicei de a face asemenea determinări şi de a descoperi semnificaţia lor.

Punctul nostru de pornire îl vor constitui datele statistice empirice, extrase din numeroşi indicatori numerici din domeniile şi aspectele variate ale ştiinţei. Toate acestea arată cu o consecvenţă şi regularitate impresionante că dacă oricare sector suficient de mare al ştiinţei este măsurat în orice mod raţional, modul normal de creştere este exponenţial. Aceasta înseamnă că ştiinţa creşte cu dobîndă compusă, înmulţindu-se

cu o anumită cantitate fixă în decursul unor perioade egale de timp. Matematic, legea creşterii exponenţiale rezultă din condiţia simplă după care în orice moment rata creşterii este proporţională cu numărul populaţiei sau cu mărimea totală deja atinsă — cu cît un lucru este mai mare, cu atît el creşte mai repede. În această privinţă, această rată este conformă cu legea naturală comună a creşterii, care guvernează numărul de fiinţe umane în populaţia lumii sau a unei anumite ţări, numărul de drosofile care cresc în colonii în interiorul unei sticle, sau lungimea căilor ferate construite la începutul revoluţiei industriale.

S-ar părea, la prima vedere, că stabilirea unei asemenea legi empirice de creştere a ştiinţei nu este nici neaşteptată, nici semnificativă. Legea are totuşi mai multe aspecte demne de observat şi din care se pot deduce un număr de concluzii importante. Într-adevăr, ea este atît de bogată în consecinţe, încît nu ezit să sugerez că ea este legea fundamentală a oricărei analize a ştiinţei.

Cea mai surprinzătoare şi semnificativă trăsătură a acesteia este că, spre deosebire de majoritatea operaţiilor de ajustare a curbelor, legea empirică se verifică cu mare exactitate de-a lungul unor lungi perioade de timp. Chiar în cazul unei alegeri oarecum neatente şi necritice a indicelui folosit ca măsură, nu este greu de demonstrat că creşterea exponenţială generală s-a menţinut timp de două sau trei secole. De aceea, deşi în această etapă legea nu este decît empirică, ea are o poziţie categoric mai însemnată decît obişnuitele serii economice cronologice pe termen scurt. Aceasta ne conduce la ipoteza justificată că legea este mai mult decît empirică şi că, folosind definiţiile adecvate indi-

cilor care cresc exponențial, se poate arăta, după cum o vom face mai tîrziu, că există o bază teoretică rațională pentru o asemenea lege.

A doua trăsătură importantă a creșterii științei este rapiditatea ei surprinzătoare, independent de modul în care această creștere este măsurată. O creștere exponențială este caracterizată în condiții optime prin stabilirea timpului necesar pentru dublarea volumului sau pentru o creștere înzecită[6]. Volumul brut al științei, exprimat în forță de muncă științifică sau în numărul publicațiilor, tinde să se dubleze în 10 pînă la 15 ani, în funcție de elementul ce se măsoară sau de modul în care se face măsurătoarea. Perioada de 10 ani rezultă din acele măsurători globale, care nu fac deosebire între lucrările de calitate slabă și cele de nivel înalt, dar care adoptă o definiție fundamentală, minimală a științei; perioada de 15 ani rezultă dintr-o operație mai selectivă, care ține seamă de o definiție mai riguroasă atît a lucrărilor științifice publicate cît și a autorilor unor asemenea lucrări. Dacă această rigurozitate este sporită astfel încît se iau în considerație numai lucrările științifice de nivel foarte înalt, atunci perioada de dublare se prelungește, astfel încît ea se apropie de aproximativ 20 de ani. Enumerarea ce urmează înfățișează ordinul de mărime a unui ansamblu de perioade de dublare, ce pot fi măsurate și evaluate și arată viteza cu care creșterea științei și a tehnologiei depășește pe aceea a populației și a instituțiilor noastre nonștiințifice.

[6] Este destul de ușor să se facă trecerea de la una la cealaltă dacă se ține seamă că, în mod aproximativ, 10 perioade de dublare corespund unui factor de 1024, sau cu circa 3 perioade de creștere înzecită.

100 de ani

Aricole-titlu din dicţionarele biografice naţionale

50 de ani

Forţa de muncă
Populaţia
Numărul universităţilor

20 de ani

Produsul naţional brut
Descoperirile importante
Fizicieni importanţi
Numărul elementelor chimice cunoscute
Precizia instrumentelor
Studenţi înscrişi în colegii la o mie de locuitori

15 ani

Titraţi în litere, titraţi în ştiinţe
Reviste ştiinţifice
Numărul membrilor institutelor ştiinţifice
Numărul compuşilor chimici cunoscuţi
Numărul de rezumate ştiinţifice în toate domeniile

10 ani

Numărul asteroizilor cunoscuţi
Literatura teoriei determinanţilor
Literatura de geometrie neeuclidiană
Literatura razelor X
Literatura de psihologie experimentală
Numărul de telefoane în Statele Unite
Numărul inginerilor în Statele Unite
Viteza transporturilor
Kilowatt-ore de electricitate

5 ani

Numărul convorbirilor telefonice externe
Permeabilitatea magnetică a fierului

1 1/2 ani

Milioane de electronvolți ai acceleratoarelor

Ținînd seamă de perioada lungă de valabilitate a creșterii exponențiale, să notăm că o perioadă de dublare de 15 ani extinsă pe trei secole de creștere corespunde cu ridicarea cifrei doi la puterea 20 sau cu un factor de aproximativ un milion. Astfel, în intervalul de la 1600 și pînă în zilele noastre, creșterea unor asemenea indici ai volumului științei ar fi trebuit să fie de ordinul unui milion. Pentru a oferi cea mai serioasă explicație a revoluției științifice și industriale, trebuie să admitem că aceasta s-a întîmplat într-adevăr.

Curînd după 1660, au fost înființate primele asociații științifice care corespund tradiției moderne; acestea au fondat primele periodice științifice, iar oamenii de știință au început să scrie articole în locul cărților care pînă atunci fuseseră singurele lor producții. În prezent, există o listă mondială de aproximativ 50 000 de periodice științifice (fig. 1) înființate în decursul timpului, din care aproximativ 30 000 continuă a fi publicate și astăzi; acestea au produs un total mondial de aproximativ șase milioane de articole științifice (fig. 2) ritmul lor de creștere fiind de cel puțin jumătate de milion anual[7]. În general, același lucru se aplică și

[7] Pentru o expunere mai detaliată vezi Derek J. de Solla Price, *Science Since Babylon*, New Haven, Yale University Press, 1961, capitolul 5.

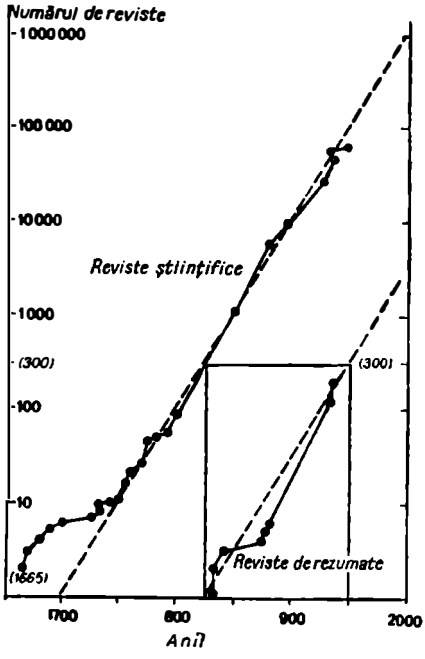

FIG. 1. NUMĂRUL TOTAL DE REVISTE ŞTIINŢIFICE ŞI DE REVISTE ŞTIINŢIFICE DE REZUMATE, ÎNFIINŢATE

De notat că revistele de rezumate încep să apară atunci cînd numărul revistelor este de aproximativ 300. Cifrele din grafic arată numărul revistelor înfiinţate şi nu numai pe acelea care au supravieţuit; ele indică toate periodicile care au şi articole ştiinţifice, nu numai pe ele „strict ştiinţifice". În cadrul unei definiţii mai restrînse cifrele absolute s-ar reduce cu un ordin de mărime, dar tendinţa generală rămîne constantă în cadrul tuturor definiţiilor. Din Derek J. de Solla Price, *Science Since Babylon*, New Haven, Yale University Press, 1961.

forţei de muncă ştiinţifice. În timp ce pe la jumătatea secolului al şaptesprezecelea existau numai cîţiva oameni de ştiinţă — care se puteau număra şi cunoaşte pe nume — actualmente există numai în Statele Unite o populaţie de ordinul milionului care posedă titluri ştiinţifice şi tehnice (fig. 3). Ceva mai mult, aceeaşi lege exponenţială este deplin valabilă pentru întreaga durată a acestei perioade. Milionul atins actualmente a rezultat din etapele intermediare de 100 000 în 1900, 10 000 în 1850 şi 1 000 în 1800. Numai în termeni de mărime, tranziţia de la *Ştiinţa mică* la *Ştiinţa mare* a fost constantă — sau cel puţin nu a avut decît fluctuaţii periodice minore, asemănătoare celor de la

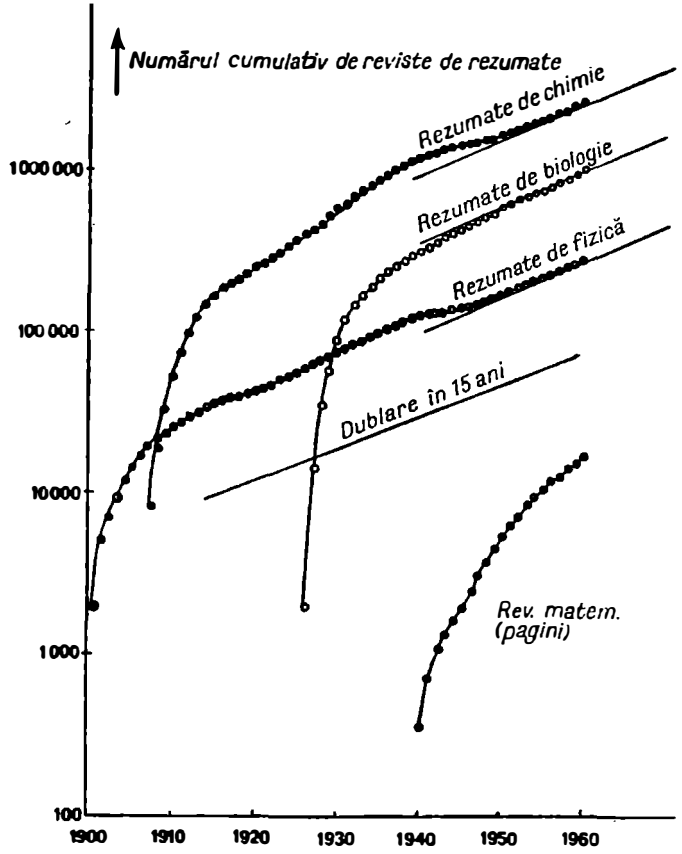

FIG. 2. NUMĂRUL CUMULATIV DE REZUMATE ÎN DIFERITELE DOMENII ŞTIINŢIFICE DE LA ÎNCEPUTUL PUBLICĂRII REZUMATELOR PÎNĂ LA DATA INDICATĂ

De notat că după o perioadă inițială de creștere rapidă, după care rata de creștere devine stabilă, numărul de rezumate crește exponențial, dublîndu-se în aproximativ 15 ani.

bursă — şi a urmat o lege de creştere exponenţială a cărei rate de creştere în decursul timpului au fost indicate mai sus.

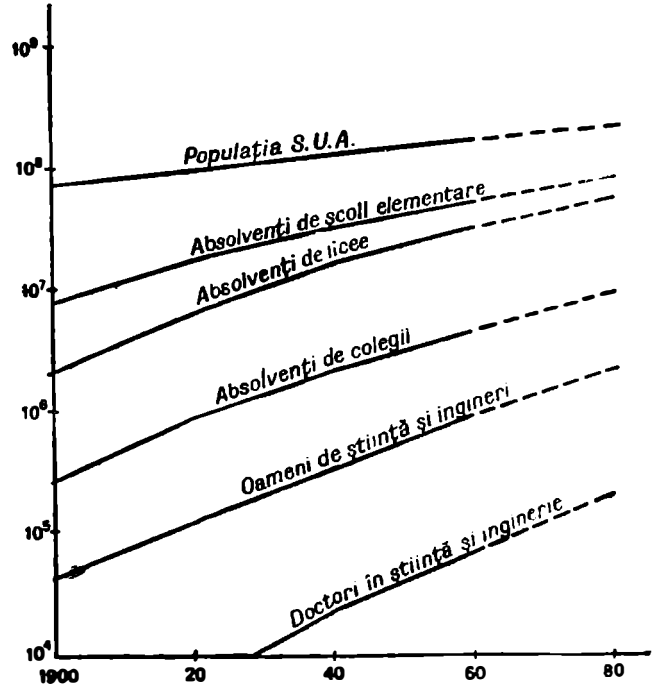

FIG. 3. CREȘTEREA FORȚEI DE MUNCĂ ȘTIINȚIFICE ȘI A TOTALULUI POPULAȚIEI ÎN STATELE UNITE

Se poate vedea că, cu cît este mai calificată forța de muncă, cu atît este mai mare rata ei de creștere. Se va observa de asemenea că se manifestă o tendință clară a curbelor de a se îndrepta către o valoare plafon care este paralelă cu curba populației.

Astfel, dublarea constantă în fiecare interval de aproximativ 15 ani, care ne-a adus la epoca științifică actuală, a produs acea caracteristică specială de actualitate, care ne îndreptățește să afirmăm că o parte atît de mare din știință este recentă și că atît de mulți din practicienii ei sînt în viață. Pornind de la legea potrivit căreia numărul de oameni de știință în viață se dublează, de pildă, în 15 ani, atunci în orice interval

de 15 ani vor apărea tot atîţia oameni de ştiinţă cîţi au existat în întregul interval de timp care a precedat. Dar în orice moment coexistă un corp de oameni de ştiinţă, care a fost produs nu într-o perioadă de timp de 15 ani, ci de-a lungul unui interval de aproximativ 45 de ani, care separă data medie a sosirii pe frontul cercetării de data medie a retragerii din munca ştiinţifică. Astfel, pentru fiecare persoană născută înaintea unei asemenea perioade de 45 de ani, există cîte o persoană născută în prima perioadă de dublare, două persoane în a doua şi patru în a treia. Ca atare, aproximativ şapte oameni de ştiinţă sînt în viaţă pentru fiecare grupă de opt care au existat cîndva, adică o fracţiune de 87 $^1/_2$ la sută, pe care propun s-o numim coeficient de actualitate. Acesta se poate calcula în mod exact prin folosirea tabelelor actuariale de mortalitate, dar în realitate rezultatul nu se schimbă mult prin aceasta, întrucît perioada de dublare a ştiinţei este cu mult mai mică decît media vieţii active a unui om de ştiinţă.

Pentru o perioadă de dublare de 10 ani, coeficientul de actualitate corespunzător este de circa 96 la sută, iar pentru o perioadă de dublare de 20 de ani, el este de circa 81 la sută. Astfel, chiar dacă s-ar admite numai forma generală a funcţiei creşterii şi ordinul de mărime a constantei sale de timp, acestea explică de ce avem sentimentul că majoritatea marilor oameni de ştiinţă se găseşte încă printre noi şi că cea mai mare parte a muncii ştiinţifice a fost produsă în perioada care este prezentă în memoria contemporanilor noştri, în cadrul duratei actualei generaţii de oameni de ştiinţă. Ceva mai mult, acest principiu poate fi întărit prin remarca că într-un moment situat între deceniul următor şi cel ce urmează acestuia se vor fi produs tot

atîta muncă ştiinţifică şi tot atîţia oameni de ştiinţă cît în tot timpul scurs pînă în momentul de faţă.

Ceea ce am spus pînă acum este bine cunoscut şi în bună măsură acceptat de aceia care fac speculaţii asupra ştiinţei, din plăcere sau din motive de politică înaltă. Aş dori, totuşi să extind aceste rezultate în aşa fel încît să pot sugera că acest punct de vedere necesită o revizuire. În primul rînd, exprimarea în termeni de „coeficient de actualitate" ne poate induce în eroare. Să comparăm cifrele stabilite mai sus cu cifrele conjecturale pentru populaţia globului.

La începutul erei noastre, omenirea număra 250 de miloane de indivizi; ea a crescut încet şi în mod neconstant, în mod diferit în diferite locuri şi timpuri şi a atins cifra de 550 de milioane pe la mijlocul secolului al şaptesprezecelea. A continuat să crească într-un ritm în creştere continuă, astfel încît în prezent (1962 — *N. T.*) există 3 000 de milioane de oameni şi se pare că acest număr se va dubla la fiecare interval de 40—50 de ani. Dacă socotim aproximativ 20 de ani pentru o generaţie, trebuie să fi existat pînă în prezent cel puţin 60 000 milioane de oameni, astfel că oamenii în viaţă astăzi reprezintă aproximativ 5% din cei care au trăit de la începutul erei noastre. Dacă am socoti şi pe toţi aceia care au trăit înaintea erei noastre, fracţia va fi şi mai mică; dacă îi socotim numai pe aceia care au trăit de la mijlocul secolului al şaptesprezecelea încoace, ei vor reprezenta cu puţin peste 10 la sută. Nu cred că faptul de a ţine seama, în măsura cuvenită, de variaţiile mortalităţii şi ale vîrstei de procreaţie poate schimba substanţial rezultatul calitativ potrivit căruia populaţia umană este departe de a fi „imediată" în sensul în care este ştiinţa.

Chiar dacă acceptăm previziunile sumbre ale acelora care vorbesc despre problema gravă a exploziei de populație, va mai trece, după cît se pare, încă o jumătate de secol, înainte de a se putea pretinde că 50 la sută din ființele omenești care au trăit pînă atunci sînt în acel moment în viață. Majoritatea persoanelor care au trăit cîndva sînt *moarte* și dat fiind că această situație va continua, ele vor rămîne moarte. S-ar putea conchide, din moment ce rata de creștere a cuvintelor-titlu în marile dicționare ale biografiilor naționale indică o proporție destul de constantă față de populația din diferitele epoci, că majoritatea persoanelor importante sau valoroase ale lumii sînt moarte. Acesta este motivul pentru care *istoria* este un subiect oarecum diferit de *istoria științei*. Dimensiunea trecutului asupra căruia stăruim este mult mai mare în măsura în care ne preocupă politica sau războaiele, decît în cazul în care ne preocupă știința.

O asemenea comparație este necesară cu privire la actualitatea științei, pentru a ne da seama că ea presupune o explozie a științei, care prin contrast reduce la dimensiuni de pigmeu explozia populației și de fapt orice altă explozie referitoare la creșterea umană nonștiințifică. *Grosso modo,* fiecare dublare a populației a produs cel puțin trei dublări ale numărului oamenilor de știință, astfel că volumul științei a crescut de opt ori, iar numărul oamenilor de știință raportat la un milion locuitori a crescut de patru ori. Astfel, efortul depus de omenire în domeniul științei socotit pe locuitor, crește mult mai repede decît populația.

O a doua clarificare de importanță crucială trebuie făcută cu privire la actualitatea și la creșterea științei moderne. Am arătat mai sus că 80—90 la sută din

actualitatea ştiinţei moderne este rezultatul direct al unei creşteri exponenţiale care a fost constantă şi consecventă în cursul unei perioade îndelungate. Urmează deci, că acest rezultat, adevărat în prezent, trebuie să fi fost adevărat în toate epocile anterioare, începînd cu secolul al optsprezecelea şi poate chiar cu secolul al şaptesprezecelea. În 1900, în 1800 şi poate chiar în 1700 se putea privi în urmă şi afirma că majoritatea oamenilor de ştiinţă din cîţi au trăit vreodată erau şi atunci în viaţă şi că partea cea mai mare din cunoştinţele existente atunci fusese dobîndite în răstimpul de care oamenii în viaţă îşi aduceau aminte. În această privinţă, deşi această constatare pare surprinzătoare, lumea ştiinţifică nu se deosebeşte în prezent de ceea ce ea a fost întotdeauna, începînd cu secolul al şaptesprezecelea. Ştiinţa a fost întotdeauna modernă, a explodat întotdeauna în sînul populaţiei, a fost întotdeauna pe marginea revoluţiei sale expansive. Oamenii de ştiinţă s-au simţit întotdeauna că plutesc într-o mare de literatură ştiinţifică, care creştea în fiecare deceniu tot atît de mult cît ea crescuse în toate timpurile anterioare.

Nu este greu de găsit în istorie păreri autorizate cu privire la acest sentiment, care a existat în toate epocile. În secolul al nouăsprezecelea poate fi citat Charles Babbage în Anglia şi Nathaniel Bowditch în Statele Unite, care deplîngeau amarnic faptul că noua eră ştiinţifică, care deabia înflorise, era ignorată. În secolul al optsprezecelea s-au manifestat primele acţiuni timide de înfiinţare a unor reviste de specialitate şi de rezumate, într-o încercare zadarnică de a stăvili sau cel puţin de a raţionaliza fluxul crescînd al publicaţiilor; putem aminti pe Sir Humphrey Davy, care avea obiceiul să arunce cărţile după ce le citea, invocînd

principiul că nimeni nu mai poate avea timpul sau prilejul să citească de două ori același lucru. Chiar în secolul al șaptesprezecelea, nu trebuie uitat că scopul care justifica apariția publicațiilor *Philosophical Transactions of the Royal Society* și *Journal des Sçavans* nu era atît publicarea de articole științifice noi, cît urmărirea și rezumarea publicațiilor și a scrierilor savante, care erau prea numeroase pentru a permite unui om să le facă față în lectura și corespondența sa zilnică[8].

Principiul potrivit căruia peste 80 la sută din producția științifică este contemporană este în mod evident suficient pentru a îndepărta orice idee naivă că simpla schimbare a proporțiilor ne-a condus de la *Știința mică* la *Știința mare*. Dacă urmează să distingem faza actuală ca ceva nou, ca ceva deosebit de concepția familiară lui Maxwell, Franklin și Newton despre o știință care deabia înmugurea, atunci nu ne putem sprijini numai pe ritmul de creștere: o știință care a progresat constant cu mai mult de cinci ordini de mărime, în decurs de peste 250 de ani nu este sensibilă la o modificare prin simpla adăogire a unui singur ordin de mărime, după cum ne-a fost dat să constatăm în decursul ultimelor cîtorva decenii ale secolului de față.

Ca un aspect secundar este de observat că acest fenomen de actualitate este tipic pentru numeroase alte constante din știință, ceea ce face ca cercetarea istoriei științei să fie semnificativă și utilă, deși cea

[8] O excelentă dare de seamă asupra nașterii revistelor științifice se găsește în lucrarea lui David A. Kronick, *A History of Scientific and Technical Periodicals* (O istorie a periodicelor științifice și tehnice), New York, Scarecrow Press, Inc., 1962.

mai mare parte a trecutului nostru este în viață. Ceea ce trebuie să facem cu privire la analizele umanistice și științifice ale științei este să descoperim asemenea constante ale metodei științifice, ale reacției publicului, ale folosirii modelelor matematice, precum și regulile de bază ale forței de muncă și ale motivației și să le aplicăm criticii și înțelegerii noastre cu privire la această știință, care pare atît de esențial modernă și lipsită de orice relație cu Arhimede sau Galileu sau Boyle sau Benjamin Franklin. Dacă îl cinstim pe un Boyle pentru legea sa, pe un Planck pentru constanta sa, aceasta este în mare măsură un cult întîmplător al eroilor; mult mai important pentru noi, decît numele acelora care și-au creat un drept la nemurire, este faptul că ei au înfăptuit aceasta într-un fel care ilustrează remarcabil modul constat și aparent etern în care se petrec aceste lucruri. Referirea la un exemplu mai vechi, ca acela al lui Galileu, văzut în toată perspectiva sa istorică, este în multe privințe mult mai eficientă decît alegerea unui exemplu mai recent, cum ar fi cel al lui Oppenheimer, cu toate că Galileu nu ne poate spune nimic despre conținutul fizicii moderne atomice, așa cum o poate face Oppenheimer.

Revenind la ideea noastră principală, vom spune că dacă simpla creștere a științei în ascensiunea sa exponențială *nu* este o explicație admisibilă pentru tranziția de la *Știința mică* la *Știința mare,* atunci ne găsim într-un impas. Pentru a ieși din el, am putea fi ispitiți, în primul moment, să negăm că a survenit o asemenea transformare radicală în starea științei. Dar această atitudine este amplu desmințită de faptul că după al doilea război mondial am fost preocupați de problemele forței de muncă științifice și ale literaturii științifice, de cheltuielile publice și de puterea

militară, în moduri care par cu totul diferite, şi nu numai ca proporţii, de tot ce a fost înainte.

Chiar dacă se admite că survin fapte noi şi că *Ştiinţa mare* nu se deosebeşte de *Ştiinţa mică* numai ca proporţie, se poate totuşi afirma că ceea ce ne-a iniţiat în era nouă şi a produs toate schimbările majore au fost schimbările extrem de profunde datorate celui de-al doilea război mondial. Însă în mod cu totul neaşteptat, se poate arăta cu ajutorul studiilor statistice, de care ne folosim pentru a măsura creşterea pură, că influenţa războiului asupra forţei de muncă ştiinţifice şi a literaturii ştiinţifice pare să fi fost numai de a produce o perturbaţie temporară, care s-a extins doar pe durata războiului.

Pentru acest interval nu este posibil să se folosească indicii, care puteau fi întrebuinţaţi înaintea războiului sau după acesta; forţa de muncă poate fi încorporată în serviciul militar, iar publicaţiile pot fi suprimate pentru păstrarea secretului. Totuşi este vădit, că după război creşterea exponenţială este identică cu creşterea anterioară (fig. 4). Aceasta este o constatare care se impune, întrucît ea arată că creşterea procentuală anuală este aceeaşi înainte şi după război şi că, prin urmare, dacă există o constantă cu privire la modul în care publicaţiile ştiinţifice generează noi publicaţii ştiinţifice, iar cercetătorii generează clase noi de cercetători, putem afirma că în cursul războiului nu a putut surveni o pierdere sau un cîştig mare pentru ştiinţă. Cu excepţia unei deplasări laterale a curbei, datorită pierderii determinate de păstrarea secretului, ştiinţa se află din punct de vedere statistic exact la punctul unde ar fi trebuit să se găsească şi ea creşte cu aceeaşi rată, ca şi cum războiul nu ar fi existat. Ar fi fost posibil ca ordinea evenimentelor să fie diferită,

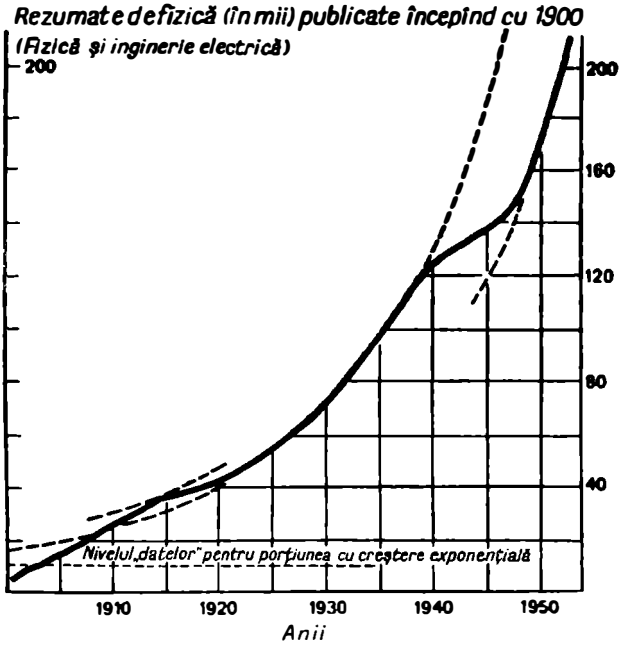

FIG. 4. NUMĂRUL TOTAL DE REZUMATE DE FIZICĂ PUBLICATE ÎNCEPÎND CU 1 IANUARIE 1900

Curba plină redă totalul, iar curba punctată reprezintă aproximaţia exponenţială. Curbele paralele servesc la ilustrarea efectelor războaielor. Din Derek J. de Solla Price, *Science Since Babylon*, New Haven, Yale University Press, 1961.

iar în linii mari şi implicaţiile politice să fie diferite, dar există unele motive pentru a considera această situaţie inevitabilă şi că era în natura lucrurilor ca laboratoarele de acceleratoare de particule să atingă mărimea celui de la Brookhaven şi instalaţiile de rachete pe aceea de la Cape Canaveral şi că, chiar dacă nu ar fi existat Proiectul Manhattan, ar fi existat totuşi un sputnik. Războiul se înfăţişează ca o piatră kilometrică enormă, dar care este aşezată lateral faţă de drumul drept al creşterii exponenţiale.

Şi atunci, dacă urmează să analizăm particularităţile *Ştiinţei mari*, trebuie să căutăm tot ce constituie altceva decît progresul constant şi concomitent al tuturor indicilor ştiinţei prin ordine de mărime succesive. Cred că există două tipuri diferite de fenomene statistice generale ale ştiinţei în general. Pe de o parte, deşi avem imaginea totală a unei creşteri exponenţiale statornice — cu acea constantă de timp surprinzător de scurtă de aproximativ 15 ani — nu toate fenomenele cresc exact în conformitate cu această rată; unele cresc mai repede, altele sînt mai lente, dar toate depăşesc creşterea populaţiei. Pe de altă parte, există posibilitatea ca legea exponenţială a creşterii să fie la începutul declinului său.

Nu este exclus ca tradiţia de peste 250 de ani să reprezinte într-un fel epoca adolescenţei, în timpul căreia fiecare ştiinţă a crescut în fiecare jumătate de secol în mod disproporţionat, s-a înveşmîntat cu un rînd de haine noi şi era pregătită să crească din nou. Poate că în prezent a intervenit calmul perioadei ce urmează adolescenţei şi creşterea atît de exuberantă s-a încetinit şi este pe cale de a înceta o dată cu atingerea staturii adulte. La urma urmei, cinci ordine de mărime reprezintă o cantitate mare. Oamenii de ştiinţă şi inginerii reprezintă acum doi la sută din forţa de muncă a Statelor Unite, iar cheltuielile anuale pentru cercetare şi dezvoltare reprezintă aproape aceeaşi fracţiune din produsul naţional brut. Este limpede că acestea nu mai pot creşte cu încă două ordine de mărime, în felul în care au crescut în cursul ultimelor cinci. Dacă s-ar produce o astfel de creştere ar însemna că pentru fiecare bărbat, femeie, copil şi cîine să existe cîte doi oameni de ştiinţă şi că cheltuielile pe care ei le-ar necesita să atingă îndoitul sumelor de bani dispo-

nibile. Astfel, mai puțin de un secol ne desparte de ziua „judecății de apoi" a științei. Problema creșterilor potrivit unor rate diferite de rata fundamentală a creșterii exponențiale va fi tratată mai departe în mod separat. Acest gen de creșteri vor fi considerate mai curînd ca distribuții statistice, cu schimbări lente ale indicilor, decît ca rate separate de creștere. Astfel, de pildă, dacă numărul doctorilor în știință s-ar dubla la fiecare 15 ani, iar numărul celor remarcabili, numai la fiecare 20 de ani, atunci cota de doctori în știință pentru fiecare fizician remarcabil s-ar dubla numai la 60 de ani, ceea ce reprezintă o schimbare atît de lentă încît poate fi exclusă din explozia științifică. S-ar putea arăta, de asemenea, prin distribuția statistică, că este rațional, pe considerații teoretice, să se presupună că perioada de dublare a unei mărimi ar putea fi un multiplu al perioadei aferente altui indice. Tratarea acestui subiect necesită însă o privire mai atentă asupra elementelor care sînt măsurate în realitate și impune o amînare pînă după obținerea și a altor rezultate din studiul formei brute a creșterii exponențiale.

Ceva mai mult, legea „normală" de creștere de care ne-am ocupat pînă acum descrie de fapt o stare foarte anormală a evenimentelor. În lumea reală, lucrurile nu continuă să crească într-una pînă cînd ating infinitul. Dimpotrivă, creșterea exponențială ajunge finalmente la o limită, cînd procesul trebuie să se încetinească și să înceteze înainte de a atinge absurdul. Această funcție mai realistă este și ea bine cunoscută sub denumirea de curba logistică și ea există în mai multe forme matematice ușor diferite unele de altele. Repet, în acest stadiu de ignoranță a științei în domeniul analizei, nu interesează în mod special amănuntele matematice sau formularea precisă a măsurătorilor. Ca o primă aproximație

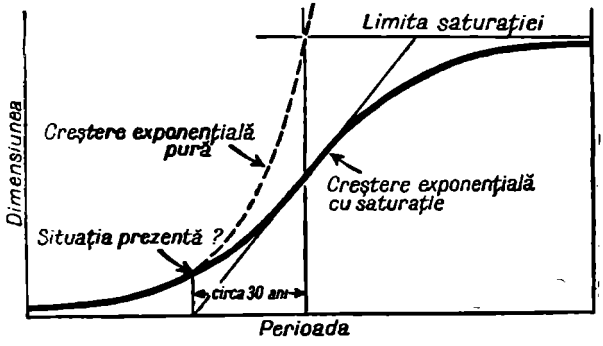

FIG. 5. FORMA GENERALĂ A CURBEI LOGISTICE
Din Derek J. de Solla Price, *Science Since Babylon*, New Haven, Yale University Press, 1961.

(sau mai exact o aproximație de ordinul zero) ne putem mărgini la examinarea tendinței generale de creștere.

Curba logistică este limitată de un prag inferior — adică de valoarea de bază a indicelui de creștere, de obicei zero — și de un plafon, care este valoarea ultimă a creșterii, dincolo de care ea nu mai poate înainta, în modul său obișnuit (fig. 5). Potrivit modelului său tipic, creșterea pornește exponențial și menține acest ritm pînă la un punct situat aproape la jumătatea drumului dintre prag și plafon, unde se produce o inflexiune. După aceasta ritmul de creștere scade, astfel încît curba continuă spre plafon într-un mod simetric aceluia cu care a urcat de la pragul inferior pînă la punctul din mijloc. Această simetrie constituie o proprietate interesantă; rareori în natură pot fi găsite curbe logistice asimetrice care necesită mai mult de un singur parametru pentru descrierea lor. Natura pare a fi parcimonioasă cu parametrii săi de creștere.

Datorită simetriei atît de des întîlnită în curbele logistice care descriu creșterea organismelor naturale sau

construite de om, măsurarea ştiinţei sau, de pildă, numărătoarea drosofilelor dintr-o sticlă, lăţimea curbei poate fi definită în mod simplu. Bineînţeles că din punct de vedere matematic curba se extinde înspre infinit în ambele sensuri de-a lungul axei timpului. Din motive de convenienţă se măsoară lăţimea regiunii mijlocii, intersectată de tangenta la punctul de inflexiune; această mărime corespunde cu distanţa dintre cuartilele unei curbe normale a erorilor sau cu integrala acesteia. Se poate arăta că această regiune de mijloc se extinde în mod necesar de ambele părţi ale centrului pe o distanţă egală cu circa trei perioade de dublare a creşterii exponenţiale.

Astfel, de pildă, dacă avem o tulpină de fasole care îşi dublează lungimea în fiecare zi, va exista o perioadă intermediară de aproximativ şase zile, în care timp tulpina de fasole va înceta creşterea sa juvenilă exponenţială şi va adopta cu privire la lungime (fig. 6) o viaţă adultă de

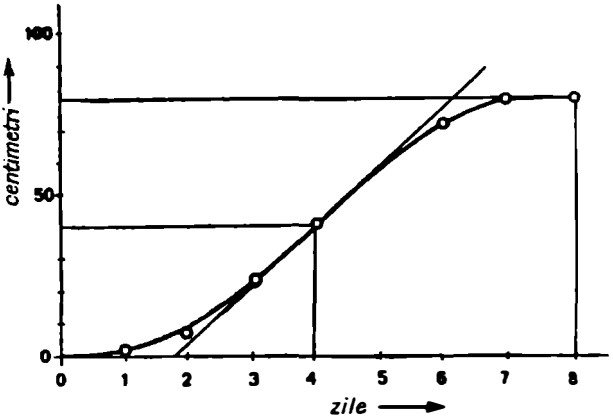

FIG. 6. CREŞTEREA ÎN LUNGIME A UNEI TULPINI DE FASOLE, ÎN FUNCŢIE DE VÎRSTĂ

Adaptat după D'Arcy W. Thompson, *Growth and Form* (Creştere şi formă) Cambridge, England, Cambridge University Press, 1948, p. 116, fig. 20.

stabilitate. Singura problemă este aceea de a stabili durata permisă de creştere liberă şi exponenţială înainte de intervenţia perioadei de decelerare. În cazul tulpinii de fasole, punctul mijlociu al creşterii este atins numai la aproximativ patru zile după începerea procesului, astfel că nu există decît o singură zi de creştere relativ liberă, iar lungimea finală este atinsă după şapte zile. Trebuie observat că această analiză nu implică cunoştinţe despre înălţimea curbei, de la prag la plafon. Este adevărat că s-a făcut o afirmaţie cu privire la data punctului mijlociu — care a fost atins după patru zile de creştere — dar s-ar fi putut tot atît de bine nota că creşterea exponenţială — în cazul de faţă de scurtă durată — să cuprindă numai prima zi, de unde ar fi urmat că un număr de alte trei dublări trebuia să aducă curba la punctul de mijloc, iar alte trei s-o ducă la îmbătrînire.

Or, fără a recurge la vreo altă presupunere cu implicaţii mai importante decît aceea pe care am făcut-o privitoare la creşterea exponenţială, care în trecut era regulată, avînd o perioadă de dublare de la 10 la 15 ani, putem deduce, aşa cum am făcut-o, că existenţa unui plafon este plauzibilă, căci altfel ar trebui să atingem condiţii absurde la sfîrşitul a încă unui secol. Dată fiind existenţa unei asemenea limite, trebuie să conchidem, că creşterea exponenţială nu este decît începutul unei curbe logistice sub altă formă. Ceva mai mult, se observă că de îndată ce intrăm în regiunea mijlocie în apropierea punctului de inflexiune — perioada de secesiune faţă de condiţiile obişnuite ale creşterii exponenţiale — se va scurge o perioadă de încă 30 pînă la 45 de ani pînă cînd să se ajungă la punctul mijlociu dintre prag şi plafon. Apoi, într-o perioadă de durată egală, curba va fi atins efectiv limita sa. Astfel, fără a

ne referi la stadiul actual al lucrurilor sau la vreo apreciere a momentului și a locului în care va trebui impus plafonul, este evident că de-a lungul perioadei unei generații umane știința va suferi o pierdere a creșterii sale exponențiale tradiționale și se va apropia de punctul critic, care marchează limita sa de senilitate.

Totuși, creșterile care au fost mult timp exponențiale nu par să se împace cu ideea de a fi nivelate. Înainte de a atinge un punct mijlociu, ele încep să se răsucească și să se învîrtească, ca niște spirite poznașe, să-și schimbe formele și definițiile pentru a nu fi exterminate la atingerea teribilului plafon (fig. 7). Sau, în termeni mai puțin antropomorfici, se instalează fenomenul cibernetic de „urmărire"[9] și curba începe să oscileze violent. Constrîngerea ca fenomen nou resimțit produce o acțiune de restabilire, dar creșterea restaurată depășește la început cu mult ținta, iar apoi se scufundă la o adîncime și mai mare decît cea atinsă anterior. Dacă reacția este reușită, valoarea ei pare, de obicei, să rezide în transformarea în așa mod a elementului de măsurat, încît acesta din urmă să capete noi puteri de viață și să se înalțe cu o nouă vigoare pînă cînd, la urmă, își găsește sfîrșitul (vezi fig. 7 c).

Se pot găsi deci două variante ale curbei logistice tradiționale, care sînt mai frecvente decît simpla ogivă în formă de *S*. În ambele cazuri, varianta intervine la un moment dat în cursul inflexiunii, probabil în momentul cînd privațiunile datorite pierderii creșterii exponențiale devin insuportabile. Dacă s-ar efectua o ușoară schimbare de definiție a elementului care se

[9] Expresia folosită în original este „hunting" = vînătoare, metaforă care se referă la zigzagurile pe care le face vînatul pentru a evita urmărirea. Vezi figura 7 c. (*N. T.*).

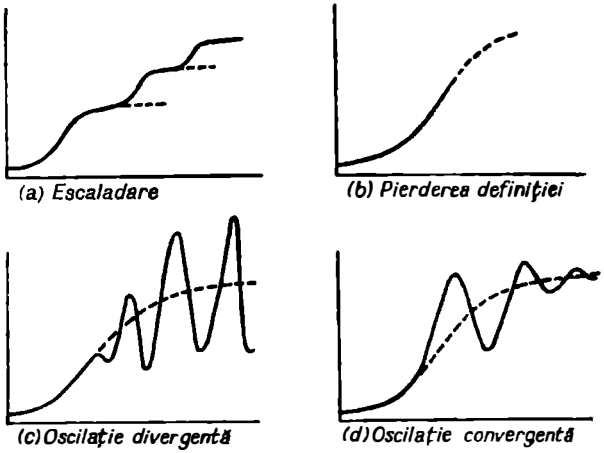

FIG. 7. MODURILE ÎN CARE CREȘTEREA LOGISTICĂ AR PUTEA REACȚIONA LA CONDIȚIILE PLAFONULUI

La escaladare se nasc noi forme logistice pe măsură ce mor cele vechi; în cazurile de pierdere a definiției nu se mai poate continua măsurarea variabilei în același mod sau în aceleași unități, iar în cursul oscilației lor (convergente și divergente) forțele cibernetice încearcă să restabilească creșterea liberă.

măsoară, într-un mod care să permită măsurarea unui fenomen nou în termeni egali cu aceia ai fenomenului vechi, atunci noua curbă logistică s-ar înălța, ca și pasărea phoenix din cenușa celei vechi, fenomen care a fost recunoscut prima dată de către Holton și care l-a denumit în mod fericit „escaladarea" (vezi fig. 7 a). Invers, dacă condițiile schimbate nu admit o nouă creștere exponențială, atunci vor exista fluctuații violente, care vor persista pînă cînd elementul statistic devine atît de vag definit încît să fie incomensurabil sau, în unele cazuri, fluctuațiile scad în mod logaritmic către un maxim stabil (vezi fig. 7 c și d). Cîte o dată poate urma, după atingerea maturității, chiar și moartea, astfel încît în locul unui maxim stabil apare un declin lent care revine la zero, sau o schimbare bruscă de

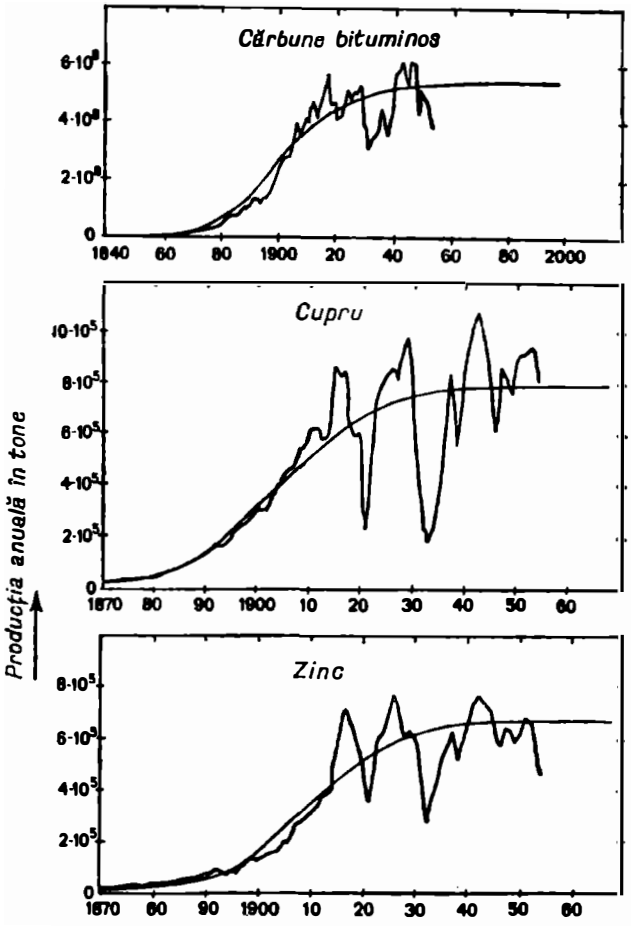

FIG. 8. CREȘTEREA LOGISTICĂ A PRODUCȚIEI MATERIILOR PRIME, CARE INDICĂ OSCILAȚIILE ȘI ATINGEREA CONDIȚIILOR DE PLAFON
Adaptată din S. G. Lasky, *Mineral Industry Futures can be Predicted*, Engineering and Mining Journal, 156 (septembrie, 1955).

definiție, care face imposibilă măsurarea indicelui și care astfel aduce curba la un sfîrșit abrupt la mijlocul drumului (vezi fig. 7 b).

Curbele logistice de acest gen au devenit foarte cunoscute în numeroase analize de serii istorice cronologice, mai ales în cele referitoare la creșterea științei și a tehnologiei. Curba simplă este bine ilustrată prin cazul începutului și sfîrșitului folosirii unei linii de cale ferată; în acest caz maximul este urmat de un declin final cînd șinele sînt demontate și liniile închise. Curba urmată de fluctuații de „urmărire" apare în figurile referitoare la producția materiilor prime tehnologice, precum sînt cărbunele și metalele (fig. 8)[10]. Curbele escaladate sînt probabil cele mai comune și pot fi văzute în numărul de universități înființate; fiecare din trepte reflectă aci admirabil diferitele tradiții ale universităților medievale și ale fundațiilor Renașterii (fig. 9).

Aceste curbe escaladate pot fi văzute și în graficul devenit familiar, prezentat prima dată ca glumă de către Fermi[11] și care indică puterea acceleratoarelor

[10] S. G. Lasky, *Mineral Industry Futures Can be Predicted* (Prețurile viitoare din industria de minereuri pot fi prezise), în „Engineering and Mining Journal" 152 (august 1951), p. 60; 156 (septembrie 1955), p. 94.

[11] Creșterea exponențială a acceleratoarelor a fost indicată pentru prima oară de către John P. Blewett într-un raport intern al Laboratorului național din Brookhaven, Departamentul Cosmotron (Internal Report of the Cosmotron Departament of Brookhaven National Laboratory), redactat la 9 iunie 1950. Prima prezentare publică a acestui material a fost făcută de Fermi în discursul pronunțat, cu ocazia retragerii sale din funcția de președinte, la American Physical Society, în sesiunea din ianuarie 1954. Figura 10 reprezintă o versiune ulterioară din M. S. Livingston și J. P. Blewett, *Particle Accelerators* (Acceleratoare de particule), New York, Mc Graw-Hill Book Company Inc., 1962, p. 6.

(fig. 10). Situaţia apare însă din ce în ce mai puţin umoristică pe măsură ce continuă predicţiile exacte, referitoare la momentul cînd devine necesar un nou progres major al metodei, pentru a se produce o nouă treaptă în escaladare.

Escaladări se mai pot constata şi în curba care indică, în funcţie de timp, numărul de elemente chimice cunoscute (fig. 11). Omiţînd primele zece, care au fost cunoscute omului preistoric, avem o creştere exponenţială constantă, care se dublează ceva mai repede decît în 20 de ani, urmată de un punct mijlociu în jurul anului 1807, pe vremea cînd Sir Humphrey Davy a atins apogeul său şi apoi de o perioadă de declin cînd au fost

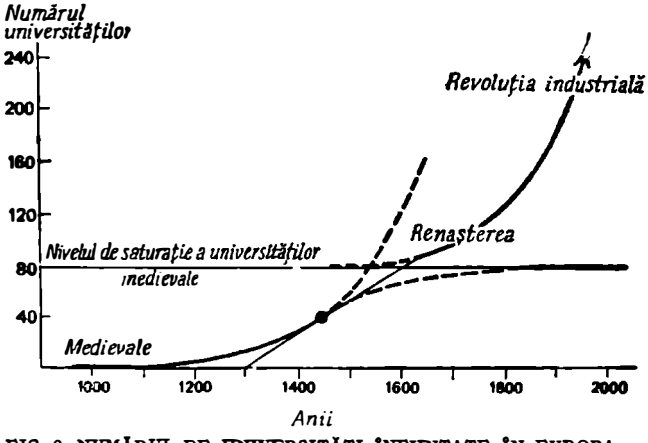

FIG. 9. NUMĂRUL DE UNIVERSITĂŢI ÎNFIINŢATE ÎN EUROPA

De la înfiinţarea la Cairo în 950 pînă în jurul anului 1460 se constată o creştere pur exponenţială, care se dublează la aproximativ 100 de ani. După aceea se instaurează saturaţia, astfel că regiunea mijlocie a sigmoidului se extinde de la 1300 pînă în jurul anului 1610. Între 1460 şi 1610 avem o perioadă de tranziţie către noua formă a universităţilor, adică o creştere care este şi ea exponenţială, ca şi cum ar fi pornit de la unitate, în jurul lui 1450, şi care se dublează la fiecare 66 de ani. Există probabil o tranziţie mereu mai pronunţată către o creştere şi mai rapidă, care a început la sfîrşitul revoluţiei industriale. Din Derek J. de Solla Price, *Science Since Babylon*, New Haven, Yale University Press, 1961.

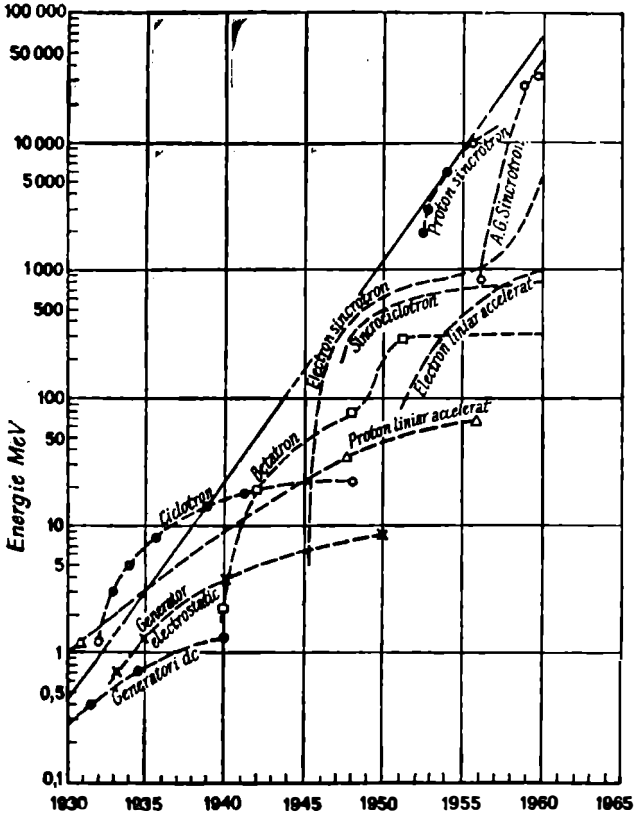

FIG. 10. RATA DE CREŞTERE A ENERGIEI OPERAŢIONALE LA ACCELERATOARELE DE PARTICULE

Folosită cu permisiune, din M. S. Livingston şi J. P. Blewtt, *Particle Accelerators*, New York, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1962, p. 6 fig. 1.1.

descoperite primele 60 de elemente. Către sfîrşitul secolului al nouăsprezecelea, cînd noi metode, mai mult fizice decît chimice, ne-au condus către noi clase de elemente, a apărut un nou grup de ogive, iar apoi s-a produs o oprire pînă cînd marile maşini au permis omului

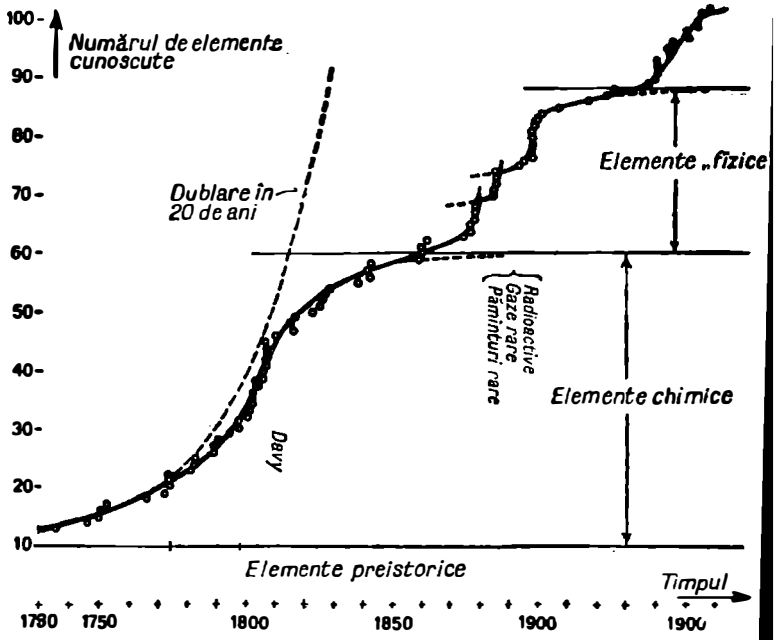

FIG. 11. NUMĂRUL DE ELEMENTE CHIMICE CUNOSCUTE ÎN FUNCȚIE DE DATĂ

Potrivit lucrării lui Davy există un declin logistic evident, urmat de o serie de escaladări corespunzătoare descoperirii unor elemente prin tehnici care sînt în mod predominant din domeniul fizicii. În jurul anului 1950 a avut loc ultima escaladare produsă de fabricarea elementelor transuranice.

să creeze ultima grupă de elemente transuranice extrem de instabile și cu existență de foarte scurtă durată.

Pe această bază sîntem conduși să propunem o a doua lege fundamentală a analizei științei: toate legile aparent exponențiale ale creșterii trebuie în ultimă instanță să fie logistice, iar aceasta presupune o perioadă de criză, care se extinde de fiecare parte a datei care corespunde punctului de mijloc, pe un răstimp de aproximativ o generație. Rezultatul bătăliei, care se dă la

punctul de la care nu mai există reîntoarcere, nu poate fi decît o reorganizare completă sau o fluctuație violentă sau moartea variabilei în cauză.

Acum, cînd cunoaștem unele lucruri despre viața „matură", patologică a unei curbe logistice și că aceste lucruri se petrec în practică în mai multe ramuri speciale ale științei și tehnologiei, se poate relua problema curbei de creștere a științei ca un tot. S-a văzut că știința a avut o viață extraordinar de lungă de creștere pur exponențială și că, la un moment dat, această creștere a trebuit să intre în declin și să fie urmată de un interval, avînd durata unei generații, de constrîngere crescîndă, susceptibilă de a-i încorda mușchii în vederea unui salt fie către o escaladare, fie spre o fluctuație violentă. Natura amănunțită a acestei schimbări, ca și orice interpretare a acesteia, trebuie să depindă de ceea ce măsurăm și de felul în care un asemenea indice este întocmit.

Chiar fără o asemenea definiție și analiză putem deduce imediat diversele caracteristici ale unei astfel de perioade. În mod evident va interveni o creștere rapidă a preocupărilor noastre privitoare la acele probleme ale forței de muncă, literaturii și cheltuielilor, care se cer soluționate prin reorganizare. Apoi, acele schimbări, care se vor dovedi reușite, vor deschide drumul spre o nouă escaladare de adaptare și de creștere rapidă. Schimbările ineficiente sau care nu vor fi suficient de radicale pentru a produce o asemenea consecință vor conduce la o „urmărire" generatoare de fluctuații violente, care — probabil — pînă la urmă se vor nivela.

O asemenea analiză pare a presupune că starea denumită *Știință mare* marchează de fapt punctul de pornire a acelor condiții noi care vor frînge tradiția de

secole și care vor da naștere unor escaladări noi, unor fluctuații violente, unor redefiniri ale termenilor de bază, precum și ale tuturor celorlalte fenomene legate de limita superioară. Cred că într-un moment, încă nedeterminat, dar situat probabil în deceniile 1940/50 sau 1950/60, am trecut prin perioada mijlocie a creșterii logistice generale a corpului științei.

Astfel, deși recunoaștem, ca urmare a discuției de pînă acum, că saturația este în ultimă instanță inevitabilă, indicarea momentului și a împrejurărilor cînd saturația va începe este legată de o foarte mare aproximație. Noi susținem acum că este posibil ca saturația să fi început deja. Este posibil că această idee să pară stranie, într-un moment cînd se folosesc numai cîteva procente din forța de muncă și din fondurile naționale, dar în capitolul următor va reieși că aceste procente reduse reprezintă de fapt o apropiere de saturație și o epuizare a resurselor, care au ajuns aproape (în limita unui factor egal cu doi) de „fundul sacului".

În tot cazul, apariția de fenomene noi în întrepătrunderea științei cu societatea pare să indice un fenomen radical deosebit de creșterea constantă, care a fost caracteristică întregului trecut istoric. Era nouă indică toate sindroamele familiare ale saturației. Trebuie să adaug că această opinie este mai curînd dătătoare de speranță decît de desnădejde. Saturația rareori implică moartea, ci mai curînd înseamnă că ne aflăm la începutul unor tactici noi și interesante referitoare la știință, care operează în virtutea unor reguli de bază cu totul noi.

Totuși, aceasta reprezintă o problemă gravă, căci *Știința mare,* astfel interpretată, devine un interludiu supărător de scurt între secolele tradiționale de *Știință*

mică și perioada imediat următoare tranziției. Dacă voim să ne exprimăm într-un stil științific cu privire la știință și să planificăm în consecință, va trebui să numim această perioadă care se apropie „Știință nouă" sau „Saturație stabilă", iar dacă nu nutrim asemenea speranțe, trebuie s-o numim senilitate.

(2)

Revenind la Galton

Francis Galton (1822—1911), al cărui bunic a fost Erasmus Darwin, a fost unul dintre spiritele cele mai multilaterale şi curioase ale secolului al nouăsprezecelea. El a introdus dactiloscopia la Scotland Yard, a înfiinţat „Societatea de Eugenie" (Eugenic Society), care a pledat pentru creşterea rasei umane pe principii raţionale, şi mai ales a iniţiat şi a impulsionat puternic ştiinţa geneticii matematice. F. Galton avea pasiunea de a număra orice lucru şi apoi de a-l reduce la statistică. Acei care văd ştiinţele sociale ca un edificiu ce se înalţă pe fundamentul solid al unor măsurători cuantificate şi al teoriei matematice pot să-l considere mai curînd pe Galton drept patronul lor, decît pe Sir Willian Petty, care, în mod obişnuit, este considerat ca fiind primul care a introdus în secolul al şaptesprezecelea numerele în studiul despre oameni prin analiza registrelor de decese.

Pasiunea lui Galton ni se înfăţişează cred, cel mai bine, în două eseuri, care în prezent pot părea mai frivole, decît i s-au părut lui. În primul, el a calculat numărul suplimentar de ani de viaţă de care se bucură membrii familiei regale şi clerul datorită rugăciunilor ce se fac pentru ei de către cea mai mare parte a populaţiei; rezultatul a fost un număr negativ. În cel de al doilea, ca să nu se plictisească în timp ce poza unui pictor portretist, el a calculat în două ocazii diferite, numărul de aplicări de penel pe portret şi a aflat că ele se ridică la circa 20 000, adică exact acelaşi număr, a

socotit el, ca și cel al mișcărilor mîinii necesare pentru împletitul unei perechi de ciorapi[1].

Nu este însă cazul să se creadă că Galton era un excentric. Opera lui serioasă se ridică la cel mai înalt nivel de erudiție și importanță, dar în prezent el este din ce în ce mai neglijat, fiindcă, deși cercetările sale erau bazate pe teoria interesantă și valabilă a lui Darwin despre evoluție, Galton nu și-a dat seama de mecanismul real al acțiunii genetice, care a fost descoperit de Mendel, rigurosul său contemporan. Mendel a publicat descoperirile sale cu exact cinci ani înaintea lucrării lui Galton despre „Geniul ereditar"[2], dar el nu a fost descoperit de public decît atunci cînd Galton era în vîrstă de aproape 80 de ani.

Vom examina cartea acestuia, *Hereditary Genius*, și cu o atenție deosebită, studiul său special *English Men of Science* (Londra 1874). În aceste lucrări, Galton este în primul rînd preocupat de teza sa că oamenii mari, inclusiv oamenii de știință creatori, au caracteristica de a fi înrudiți între ei și că deci este posibil ca o serie de familii de elită să fi produs cea mai mare parte a oamenilor de stat remarcabili, a oamenilor de știință, a poeților, judecătorilor și a comandanților militari din epoca sa și din trecut. Opera sa principală este plină de capcane; în general nu ne interesează atît de mult abordarea galtoniană a geneticii, cît multiplele și interesantele sale investigații secundare. Acestea sînt studiile sale de

[1] Karl Pearson, *The Life*, Letters and Labours of Francis Galton (Viața, corespondența și lucrările lui Francis Galton), New York, Cambridge University Press, 1914—30 (vezi în special vol. III a, p. 125).

[2] Francis Galton, *Hereditary Genius* (Geniul ereditar), Londra, 1869; retipărit de Meridian Books, 1962.

pionierat privitoare la distribuirea „calității" printre oamenii de știință distinși, precum și o serie de rezumate, pe care în zilele noastre ar trebui să le numim sociologice și psihologice și care ne spun unele lucruri despre caracteristicile acestor oameni excepționali.

Ne propunem să examinăm aceste două mari linii în condițiile secolului al douăzecilea și ale extinderii în acest secol a operei lui Galton. Prima, care ne arată numărul de oameni sau publicații științifice sau lucrări de cercetare care există la fiecare din diferitele niveluri de calitate, este necesară pentru înțelegerea naturii calității științifice, iar această cunoaștere constituie o condiție prealabilă pentru interpretarea numeroaselor măsurători diferite de indici, menționate anterior în legătură cu legile de bază care guvernează ratele creșterii exponențiale și logistice ale științei. A doua, ne va ajuta să formulăm reguli de bază cu privire la ceea ce trebuie să ne așteptăm de la oamenii de știință, atunci cînd modificarea condițiilor, provocată de *Știința mare* sau de Știința de saturație, produce o schimbare a condițiilor lor față de cele cunoscute în trecut.

Galton a început prin a evalua cît de rare erau în Anglia din epoca sa diferitele tipuri de oameni care activau în general în domeniul problemelor umane și în particular în știință, oameni care reprezentau diverse grade de eminență; folosindu-se de criteriul după care un om era eminent dacă numele lui figura în scurta compilație biografică a celor „2 500 Oameni ai timpului", care se publicase tocmai atunci, sau în coloanele speciale de necrologuri ale ziarului *The Times*, el a descoperit că aceste manifestări de considerație aveau o incidență de aproximativ o persoană la 2 000 bărbați adulți sau de o persoană la 20 000 locuitori, ceea ce re-

prezintă un număr infim al oamenilor în viață în orice epocă, în Anglia.

Pentru oamenii de știință eminenți el a aplicat o normă potrivit căreia ei trebuiau nu numai să fie membri ai Societății Regale — o cinste însemnată după reformele efectuate cu aproximativ treizeci de ani în urmă, privitoare la alegerea acestora sub Dl. Justice Groves, — ci să se fi distins și prin ocuparea unei catedre universitare, printr-o medalie acordată de o societate savantă sau printr-o funcție deținută într-o asemenea societate; în sfîrșit, prin calitatea de membru al unui club de elită de nivel academic.

Numărul persoanelor pentru care el ar fi putut obține toate informațiile biografice dorite era de 180 și el aprecia că în întreaga Anglie ar fi existat cel mult 300 asemenea persoane.

Ținînd seama că jumătate dintre ele erau între vîrsta de 50 și 65 de ani, el a calculat că șansa ca cineva să ajungă la o asemenea situație înaltă era de 1 la 10 000 de bărbați adulți din această grupă de vîrstă, o cifră care corespunde aproximativ la 1 la 100 000 din totalul populației. Dat fiind însă că listele biografice generale arată că numai circa 1 din 10 oameni eminenți activa în știință sau în medicină, urmează că, potrivit criteriilor sale anterioare, nu putea exista decît aproximativ un singur om de știință eminent la 200 000 de locuitori. Faptul că Galton presupune că a existat un număr îndoit înseamnă că el era în eroare, fiind prea generos atunci cînd evalua numărul de oameni de știință remarcabili, care ar fi trebuit să figureze pe lista sa și care totuși nu figurau, sau că există tendința de a arunca o plasă mai mare atunci cînd se caută oameni mari de știință, decît atunci cînd se caută oameni mari în general.

Utilitatea acestei investigații constă în aceea că ne oferă o evaluare a numărului personalităților științifice, pe care Galton le considera destul de importante ca să merite să fie discutate, dar fără a limita sfera de cuprindere la un grup atît de restrîns încît cercetătorul să nu aibă altă alegere decît aceea de a face generalizări pornind doar de la o mînă de oameni de geniu. Astfel, această categorie cuprinde numai între 5 și 10 persoane la un milion. Cum se prezintă această situație în comparație cu aceea din epoca de la Galton încoace?

Din fericire există o admirabilă monografie biografică, *American men of science*, din care au apărut 10 ediții între 1903 și 1960. Editorul, J. M. Keen Cattell (el însuși un psiholog proeminent), a adus servicii deosebite prin faptul că a marcat cu un asterisc numele cele mai vrednice de notat, inițial în număr de 1 000, care s-au înmulțit pe măsura apariției fiecărei ediții noi[3]. Întîmplarea face, ca în prima ediție numele marcate cu o steluță să fie de circa 1 la un milion din populația Statelor Unite, pentru ca în volumul din 1938 proporția să fie de 12,4 la un milion, și ca ambele cifre să fie de același ordin de mărime ca acela găsit de Galton. Desigur se pare că nu s-a produs vreo schimbare considerabilă în numărul de oameni de știință „eminenți" raportat la un milion de locuitori, fie că deplasăm terenul de investigație din Marea Britanie în Statele Unite, fie că îl cercetăm de-a lungul perioadei în care a intervenit aproape o dublare a populației Statelor

[3] Aci și mai departe ne-am folosit într-o mare măsură de ampla analiză din lucrarea lui S. S. Visher, *Scientists Starred 1903—1943* (Oameni de știință marcați cu un asterisc), în „American Men of Science", Baltimore, The Johns Hopkins Press, 1947.

Unite. S-ar putea susține că normele distinctive ale lui Galton nu sînt aceleași cu cele ale lui Cattell. S-ar putea chiar susține, și cu mai mare dreptate, că stabilirea arbitrară de către Cattell a unei cote inițiale rigide de 1 000 asteriscuri la care s-a adăugat ulterior un spor fix era poate cu totul disproporționată față de o normă constantă de „eminență". În ciuda acestui fapt, nu se pot descoperi schimbări rapide în această incidență estimată a „eminenței" științifice.

Dacă în studierea lucrării *American Men of Science* nu ne oprim numai la numele marcate cu un asterisc, ci la toate numele pe care ea le cuprinde, observăm o schimbare foarte izbitoare a ordinului de mărime, o dată cu scurgerea timpului (tabelul 1). O singură privire asupra celor 10 ediții așezate pe raft este suficientă să ne impună pe loc respectul față de puterea creșterii exponențiale.

Tabelul 1

NUMĂRUL DE OAMENI CITAȚI ÎN EDIȚIILE LUCRĂRII „AMERICAN MEN OF SCIENCE"

Anul publicării	*Numărul oamenilor de știință*	*Numărul raportat la un milion din populația S.U.A.*
1903	4 000	50
1910	5 500	60
1921	9 500	90
1928	13 500	110
1933	22 000	175
1938	28 000	220
1944	34 000	240
1948	50 000	340
1955	74 000	440
1960 (fără științele sociale)	96 000	480

Este evident că în răstimpul ultimilor 50 de ani numărul oamenilor de știință a crescut de șaisprezece ori, ceea ce reprezintă o creștere exponențială cu o perioadă de dublare de circa 12 1/2 ani, cifră care a fost deja indicată ca fiind tipică pentru creșterea științei. Chiar în raport cu mărimea populației totale, se poate vedea că în aceeași jumătate de secol s-a înmulțit densitatea oamenilor de știință cu un factor de opt, reprezentînd o dublare în circa 17 ani. În decursul a încă patru semicentenare o asemenea creștere regulată ne-ar duce la cifra de peste două milioane de oameni de știință americani la fiecare milion de locuitori, dacă n-ar fi faptul că creșterile exponențiale, în mod inevitabil, devin logistice și apoi mor.

S-a arătat mai sus că, din pricina acestui mecanism logistic, perspectiva pentru viitorul imediat este mai interesantă decît aceea a unei morți lente prin sufocare în anul 2160. Se pare că numai cîteva decenii ne despart de criza care ne așteaptă și că ea se arată a fi mai mult legată de natura creșterii decît de epuizarea întregii populații. Prezintă deci un oarecare interes cercetarea rațiunii pentru care, în ciuda acestei creșteri rapide exponențiale a forței de muncă științifice — și incidental a publicațiilor și a bugetelor lor, — numărul oamenilor cu adevărat mari nu pare să se modifice cu aceeași viteză exuberantă.

Rădăcina răului, după cum bine a observat Galton, rezidă în greutatea stabilirii oricărei norme obiective de eminență, care să nu depindă de timp. Este ușor de observat, că tot ce s-a spus înseamnă că atunci cînd oamenii sînt aleși pe baza unor grade de selectivitate de ordinul a 10 dintr-un milion ei devin remarcabili în măsura dată de această normă. Aceeași problemă apare în evaluările cele mai recente ale populației cu talente

deosebite, pe baza testelor de inteligență. De pildă, se poate spune că într-un test de tipul A.G.C.T. *(Army General Classification Test)* numai un om la 10 000 din grupa de vîrstă respectivă poate întruni mai mult de 170 de puncte, unul la 100 000 mai mult de 180, unul la 1 000 000 mai mult de 190 și așa mai departe, crescînd cu un ordin de mărime pentru fiecare 10 (mai precis 11) puncte cu care se înalță ștacheta. Dar nu se poate afirma în mod util că eminența începe de la obținerea a 172 de puncte și nu a unui punctaj inferior. Chiar dacă geniul s-ar rezuma la o chestiune de talent, prin testele menționate nu poate fi vorba de o demarcație netă, ci numai de o eliminare treptată a populației pe măsură ce normele cresc. Deficiența nu constă atît în definirea a ceea ce constituie capacitatea științifică, cît în premisa falsă că distincția sau geniul pot fi recunoscute pe o bază de „da sau nu".

Se pot obține rezultate mai precise, deși nu cu mult mai precise, prin luarea în considerare a unui grup rezonabil de mic, fie de oameni care sînt trecuți în tabele, fie de descoperiri sau chiar de instituții științifice, de reviste și țări și prin însemnarea într-un mod special a acelora care au primit distincții. Cu privire la oamenii eminenți, de pildă, se pot folosi drept criterii alegerea lor pentru a fi solicitați să țină conferințe, pentru a primi medalii și alte premii, cum ar fi premiul Nobel. Aceasta ne oferă ritmul obișnuit al creșterii exponențiale, dar cu o perioadă de dublare considerabil mai lungă decît 10 ani. De exemplu, pentru un grup select, aparent superior de oameni de știință moderni din orice domeniu mai larg, grup extras din manuale standard de biografie sau din alte surse care selecționează numai o mică elită, timpul de dublare este

de circa 20 de ani. Aceeași cifră se obține aproximativ și în privința oricărei liste de mari descoperiri științifice selecționate.

Pentru a îmbunătăți ponderea și semnificația acestui rezultat, este necesar, evident, să trecem la o formulare oarecare cu privire la gradele de eminență, care să prezinte nu o dihotomie a celor distinși și a celor nedistinși, ci mai curînd o scară mobilă, un fel de distribuție a vitezei. O asemenea scară — scara tradițională folosită de decani și alți conducători ca măsură a succesului științific — constă din numărul de articole produse de fiecare individ în revistele științifice recunoscute. Trebuie admis, de la început, că aceasta este o scară nesatisfăcătoare. Căci cine ar îndrăzni să considere că ar exista o egalitate între un articol al lui Einstein despre relativitate și între fie și o sută de articole ale lui John Doe[4], doctor în științe, despre constanta elastică a diferitelor esențe lemnoase (pentru fiecare esență cîte un articol) ale pădurilor din Basutolandul de Jos?

Această scară este nesatisfăcătoare, dacă nu pentru alt motiv, pentru faptul că existența ei a îndemnat pe oameni să publice, acesta fiind modul în care ei puteau fi apreciați. Cu toate acestea, ea constituie un punct de plecare și este susceptibilă de perfecționare în decursul timpului pentru a face față obiecțiilor ridicate. Vom arăta, de pildă, că toate distribuțiile de acest gen sînt de un tip asemănător și că, prin urmare, deși nu putem măsura direct „capacitatea științifică", putem deduce în mod rezonabil proprietățile distribuției sale prezu-

[4] Nume ipotetic, folosit pentru a evita un nume precis *(N.T.)*.

mate. Va trebui de asemenea să ne opunem părerii că scara nu ar putea fi aplicată, în mod direct, erei *Științei mari,* care implică atîta muncă de colaborare încît îngreuiază determinarea realizărilor ce revin fiecăruia. Aceasta constituie un punct care este rezervat unei analize ulterioare.

Nu este cazul să începem cu un punct de vedere prea pesimist cu privire la această investigație. S-ar putea să existe abateri flagrante, dar în general există, fie că ne place sau nu, o corelație destul de bună între eminența unui om de știință și productivitatea sa în materie de publicații. Este nevoie de persistență și perseverență pentru a fi un bun om de știință și acestea se reflectă în mod frecvent într-o producție susținută de scrieri erudite. Apoi, se poate demonstra foarte bine că lista acelora care marchează multe puncte conține o mare proporție de nume, care nu numai că sînt cunoscute dar care sînt și onorate. Invers, capătul listei în care figurează cei cu un număr redus de puncte conține, în cifre absolute, mai puține asemenea nume, iar procentual cu mult mai puține.

Un studiu exact în această problemă a fost efectuat, de Wayne Dennis. Folosind ca sursă lucrarea *Biographical memoirs* pentru anii 1943—1952, el a arătat că din 41 de oameni, care au decedat după ce au trăit o viață plină, atingînd vîrsta de 70 de ani, cel care era situat în frunte avusese 768 de publicații, iar ultimul din această enumerare numai 27. Numărul mediu de publicații pe persoană a fost de peste 200, iar numai 15 persoane au avut mai puțin de 100 de publicații în bibliografiile lor. Tot astfel, o listă de 25 de oameni de știință eminenți din secolul al nouăsprezecelea a arătat că toți, cu o singură excepție, publicaseră între 61 și

307 articole[5]. De asemenea, pe baza unui eşantion din *Royal Society Bibliography of Scientific Literature 1800—1900* (Bibliografia literaturii ştiinţifice a Societăţii Regale 1800—1900) s-a constatat că cei mai productivi din toţi autorii care reprezintă 10% din totalul lor, avînd fiecare un număr de peste 50 de publicaţii, erau de un asemenea calibru încît jumătate dintre ei au meritat distincţia de a fi menţionaţi în *Encyclopaedia Britanica;* din grupul de vîrf care reprezintă 5% din total, în care bibliografia fiecăruia cuprinde peste 140 de articole, aproximativ 70 la sută s-au bucurat de aceeaşi menţiune. Niciunul din cei menţionaţi în *Encyclopaedia* pentru opera sa ştiinţifică nu a avut mai puţin de şapte publicaţii.

Astfel, deşi nu există nici o garanţie că micul producător de publicaţii este o nonentitate şi că marele producător este un om de ştiinţă distins sau că ordinea meritului urmează ordinea productivităţii, există, totuşi, o corelaţie strînsă[6] între acestea, iar pentru noi prezintă interes cercetarea mai aprofundată a împărţirii scriitorilor de literatură ştiinţifică, în scriitori de mare şi, respectiv, de mică productivitate.

Asemenea studii sînt uşor de făcut prin calcularea numărului de articole aflate sub numele fiecărui autor în indicele cumulativ al unei reviste. O asemenea investigaţie deschizătoare de drumuri a fost efectuată de Lotka[7], iar după aceea mulţi alţii au repetat asemenea numărători pe autor. Ele confirmă, toate, un

[5] Riesman constituie o excepţie, întrucît a publicat numai 19 articole, dar el a murit la vîrsta de 40 de ani.

[6] Productivitatea este de aceea unul din numeroşii factori.

[7] Alfred J. Lotka, *The frequency distribution of scientific productivity* (Distribuţia frecvenţei productivităţii ştiinţi-

rezultat fundamental simplu, care nu pare să depindă de tipul științei sau de anul volumului-indice folosit; singura cerință fiind ca indicele să se extindă pe un număr de ani suficient de mare, astfel încît să dea posibilitate acelora care pot produce mai mult decît cîteva articole să și producă efectiv mai mult.

Rezultatul acestei investigații este legea inversului pătratului productivității (fig. 12). Numărul de indivizi care produc n articole este proporțional cu $1/n^2$. Pentru fiecare 100 de autori care nu produc decît un singur articol într-o anumită perioadă, există 25 care produc două articole, 11 cu trei articole și așa mai departe. Înfățișînd lucrurile puțin deosebit, prin prezentarea cumulativă a rezultatelor, se obține o integrare care ne dă aproximativ o lege a inversului la puterea întîi pentru indivizii care elaborează mai mult decît n articole; astfel, circa unul la cinci autori elaborează cinci sau mai multe articole și unul la zece produce cel puțin zece articole (fig. 13).

Este surprinzător că o lege atît de simplă este urmată cu atîta exactitate și că găsim aceeași distribuție de productivitate științifică în primele volume ale „Societății Regale" ca și în datele extrase din revista *Chemical Abstracts* din secolul al douăzecilea. Cred că această regularitate dă o indicație cu privire la natura punctajului a cărui evidență este ținută. O distribuție conform probabilității legii inverse a pătratului sau a inversului puterii întîi pentru probabilitatea cumula-

fice), în „Journal of the Washington Academy of Sciences" 16 (1926), 317. Pentru o analiză mai completă și justificare vezi Herbert A. Simon, *Models of Men, Social and National*, New York, John Wiley and Sons Inc., 1957, p. 160.

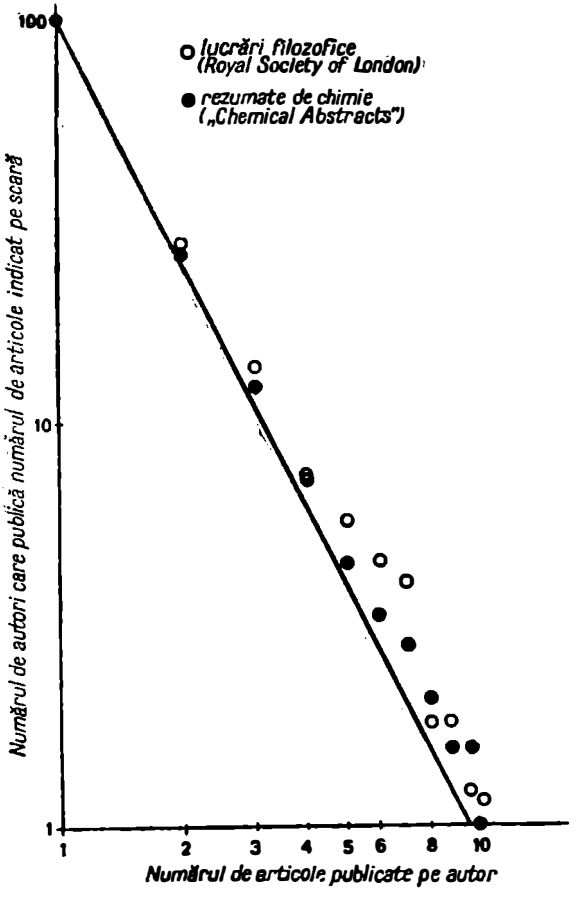

FIG. 12. LEGEA LUI LOTKA

Numărul de autori care publică exact *n* articole, ca o funcție de *n*. Cercurile goale reprezintă datele culese din primul volum-indice al ediției prescurtate din *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (17^{th} and early 18^{th} centuries). (Lucrările filozofice ale Societății Regale din Londra; secolul al 17-lea și începutul secolului al 18-lea); cercurile pline reprezintă pe acelea culese din indicele decenal, 1907—1916, al lui *Chemical Abstracts*; linia dreaptă indică legea exactă a pătratului invers a lui Lotka. Toate datele sînt reduse la o bază strictă de 100 de autori, care nu publică decît un singur articol.

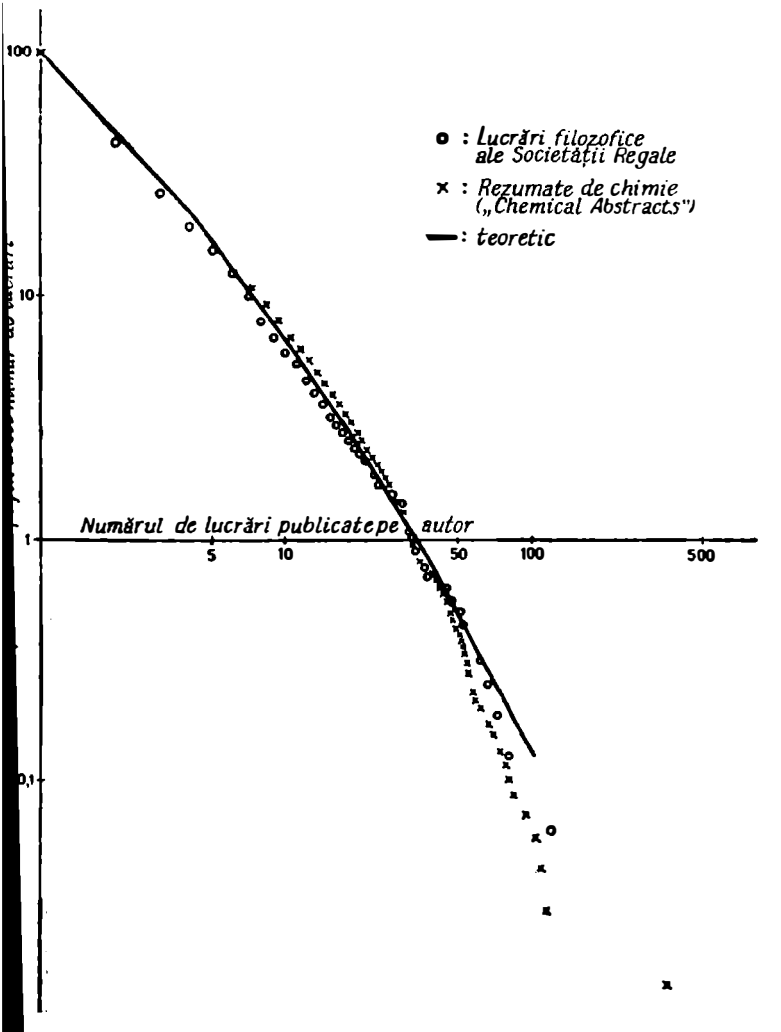

FIG. 13. NUMĂRUL DE AUTORI CARE PUBLICĂ CEL PUȚIN n LUCRĂRI, CA O FUNCȚIE DE n

Aceleași date și aceeași reducție ca și pentru fig. 12, dar curba plină este în cazul de față modificată avînd o formă care ține seamă de supraestimația lui Lotka a numărului autorilor de mare prolificitate (vezi nota 9 capitolul 2).

tivă nu seamănă de loc nici cu distribuţiile normale ale lui Gauss sau Poisson şi nici cu celelalte curbe asemănătoare ce rezultă din măsurarea normală liniară a evenimentelor care se produc întîmplător. Dacă numărul lucrărilor ştiinţifice ar fi distribuit astfel cum este distribuit numărul de oameni de diferite înălţimi, sau numărul celor ucişi de cai prin lovituri de copită, am găsi cu mult mai puţine punctaje mari. Nu plouă din cer cu lucrări ştiinţifice şi deci ele nu sînt distribuite la întîmplare; dimpotrivă, pînă la un punct, cu cît un autor are mai multe lucrări, cu atît pare mai uşor pentru el să elaboreze încă una; un principiu asupra căruia vom reveni.

Să examinăm mai întîi natura legii brute a inversului pătratului productivităţii (tabelul 2). Dacă se calculează producţia totală a acelora care scriu n lucrări, rezultă că celor mulţi, cu o producţie scăzută, le revine, la un loc, aproximativ tot atît de mult din totalul lucrărilor, ca şi numărului redus de autori cu o producţie mare; într-un simplu exemplu schematic, simetria poate fi indicată pînă la un punct care corespunde cu rădăcina pătrată a numărului total al autorilor sau cu punctajul celui cu producţie maximă. Dacă există 100 de autori, iar cel mai prolific are un punctaj de 100 de lucrări, jumătate din totalul lucrărilor s-au scris de către cei zece cu punctajul cel mai ridicat, iar cealaltă jumătate de către acei care fiecare în parte are mai puţin de 10 lucrări. De fapt, în cazul ideal indicat, un sfert din lucrări au fost scrise de cei doi autori din frunte, iar un alt sfert de către aceia care nu publică decît un articol sau două.

Aceasta ne pune de îndată la îndemînă o metodă obiectivă pentru separarea acelora care au o contribuţie majoră de cei cu contribuţie minoră. Se poate pune

Tabelul 2

TABEL, SCHEMATIC INDICÎND NUMĂRUL DE AUTORI DE DIFERITE GRADE DE PRODUCTIVITATE (LUCRĂRI PE TOATĂ DURATA VIEȚII) ȘI NUMĂRUL DE LUCRĂRI PUBLICATE*

Lucrări/om	*Oameni*	*Lucrări*	
1	100	100	(Grupul de 75 la sută din
2	25	50	oamenii de știință, care au
3	11,1	33,3	un punctaj redus, produce un
4	6,2	25	sfert din totalul lucrărilor)
5	4	20	
6	2,8	16,7	
7	2	14,2	
8	1,5	12,5	
9	1,2	11,1	
10	1	10	
10—11,1	1	10+	
11,1—12,5	1	11,1+	
12,5—14,2	1	12,5+	
14,2—16,7	1	14,2+	(Subtotal: 10 oameni de știin-
16,7—20	1	16,7+	ță produc mai mult de 50
20—25	1	20+	la sută din totalul lucrărilor)
25—33,3	1	25+	
33,3—50	1	33,3+	
50—100	1	50+	(Cei doi din vîrf produc un
Peste 100	1	100+	sfert din toate lucrările)
TOTAL	165	586+	

Media lucrări/om = 586 : 165 = 3,54

*) Baza tabelului a constituit-o 100 de autori care au publicat o singură lucrare. Celelalte cifre sînt calculate pe baza legii lui Lotka.

o limită și afirma că jumătate din totalul lucrărilor este scrisă de către cei care, individual, au la activul lor peste 10 lucrări sau că numărul producătorilor prolifici pare să fie de același ordin de mărime ca și rădăcina pătrată a numărului total de autori. Prima modalitate, care stabilește o cotă de circa 10 lucrări, ce poate fi denumită „metoda lui Dean", este destul de

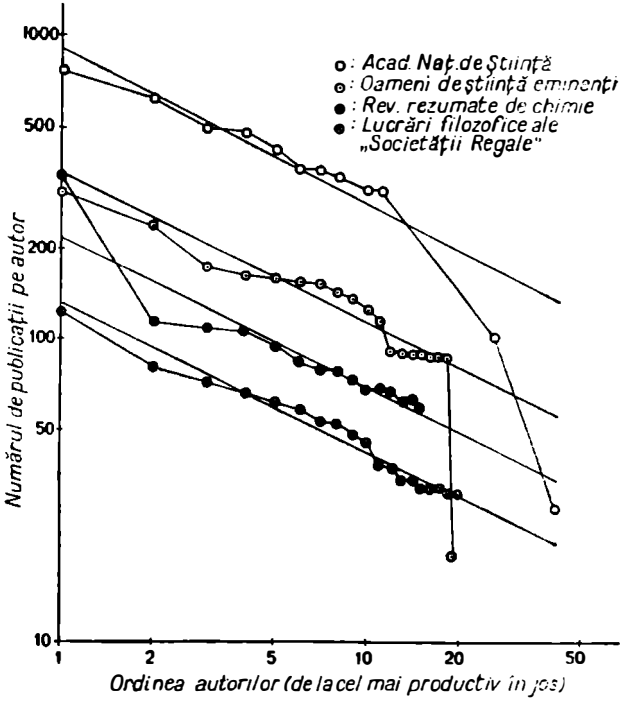

FIG. 14. NUMĂRUL PUBLICAȚIILOR A PATRU SERII DE AUTORI EXCEPȚIONAL DE DISTINȘI ȘI (INCIDENTAL) EXTREM DE PROLIFICI, FIECARE AȘEZAT LA RANGUL SĂU ÎN CADRUL SERIEI

Scriile sînt alcătuite din: (1) membrii Academiei Naționale de Științe, extrași din biografiile făcute cu prilejul necrologurilor; (2) nouăsprezece oameni de știință eminenți din secolul al nouăsprezecelea; (3) cei mai prolifici autori cuprinși în indicele decenal al revistei *Chemical Abstracts*; (4) indicele volumelor 1—70 din *Philosophical Transactions of the Royal Society*.

cunoscută; a doua modalitate, care arată că numărul autorilor crește în raport cu pătratul numărului celor buni, pare a fi compatibilă cu constatările anterioare, că numărul oamenilor de știință se dublează la fiecare 10 ani, dar că numărul oamenilor de știință remarcabili se dublează numai la 20 de ani.

Din nefericire, legea simplă a inversului pătratului lui Lotka trebuie modificată în cazul autorilor cu punctaje mari (fig. 14). Dincolo de liniile de separaţie menţionate, numărul oamenilor de ştiinţă se reduce mai repede decît inversul pătratului, apropiindu-se mai mult de inversul cubului. Aceasta echivalează cu a spune că numărul lor cumulativ se reduce mai curînd în raport cu pătratul punctajului decît cu punctajul luat la puterea întîi. Datele extrase din lucrarea lui Lotka şi Dennis[8] sînt în deplină concordanţă cu aceasta, adică, dacă acei cu punctaje mari sînt clasificaţi în ordinea meritului, punctajele lor scad în toate cazurile cu rădăcina pătrată a ordinei (a rangului) lor în clasificare.

Din cele ce preced se poate deduce cu uşurinţă o lege valabilă atît pentru cei cu punctaj scăzut cît şi pentru cei cu punctaj ridicat, lege care reduce foarte puţin extremitatea de sus a distribuţiei lui Lotka[9]. Se poate vedea că această distribuţie ar trebui să fie calitativ necesară, căci altfel punctajele maxime ale lucră-

[8] Wayner Dennis, *Bibliographies of Eminent Scientists* (Bibliografiile oamenilor de ştiinţă eminenţi) în „The Scientific Monthly", 79 (septembrie 1954), pp. 180—183.

[9] Pentru reprezentarea grafică, pe care am dat-o aci, am folosit o lege de distribuţie avînd forma:

$$N = k\left(\frac{1}{p} - \frac{1}{a+p}\right) = \frac{ak}{p\,(a+p)}$$

în care N este numărul cumulativ al oamenilor care publică cel puţin p lucrări ştiinţifice într-un interval dat de timp (aci reprezentînd durata vieţii). Pentru cei cu productivitate redusă $1 < p < a$, iar legea tinde spre puterea întîi inversă $N = k/p$, în timp ce pentru autorii de mare productivitate avem $a < p < \infty$, iar legea se apropie de forma pătratului-invers $N = ak/p^2$. Constatăm că datele disponibile pot fi ajustate prin stabilirea

rilor publicate în decursul unei vieţi s-ar ridica la mii şi chiar la zeci de mii şi nu la cîteva sute, cifră care pare să fie producţia chiar şi a celor mai prolifice vieţi ştiinţifice. Cayley, unul din marii matematicieni britanici ai secolului al nouăsprezecelea, are, în colecţia sa de lucrări, 995 articole — o lucrare la două sau trei săptămîni, — iar eu nu am reuşit să descopăr pe altul care să-l depăşească.

Această lege modificată ne conduce la rezultatul că aproximativ o treime a literaturii şi mai puţin de o zecime a oamenilor de ştiinţă intră în zona punctajelor înalte. Din ea mai rezultă o medie de $3\,1/2$ lucrări de fiecare om. Astfel, dacă cunoaştem cîte lucrări s-au publicat într-un domeniu, atunci putem calcula numărul oamenilor care le-au scris şi chiar numărul mult mai mic al acelora care trebuie consideraţi că au o contribuţie proeminentă în domeniul respectiv. Prin urmare, într-un domeniu care conţine 1 000 de lucrări, vor exista circa 300 de autori. Dintre aceştia, aproximativ 180 nu vor trece dincolo de prima lor lucrare, dar alţi 30 se vor afla deasupra demarcaţiei noastre de

hotarului între productivitatea mare şi cea mică la $a=15$ lucrări pe durata vieţii.

Cu ajutorul legii de distribuţie stabilită sîntem în măsură să calculăm, unul după celălalt, numărul de autori care publică exact p lucrări, numărul de lucrări publicate în total de aceşti autori şi, în sfîrşit, numărul cumulativ de lucrări publicate de numărul cumulativ de autori. Aceasta ne permite să calculăm toate proprietăţile unei atari distribuţii, în termenii parametrului a şi ai constantei arbitrare de proporţionalitate, k. Reiese, de pildă, că numărul mediu de lucrări pentru fiecare autor este dat de $1+(1+1/a)\log(1+a)$ care este foarte puţin sensibil la mărimea lui a, luînd o valoare de 3 pentru $a=7$ şi o valoare de 4 pentru $a=22$.

10 lucrări de fiecare, iar 10 vor fi extrem de prolifici, avînd o contribuţie majoră.

Mai importantă decît informaţia numerică este existenţa dovedită a unei legi aplicabile de distribuţie. Se poate face o comparaţie interesantă între aceasta şi faimoasa lege a lui Pareto a distribuţiei venitului[10]. În locul unei forme care să urmeze o lege de $1/n$ pentru valorile mici şi de $1/n^2$ pentru cele mari, Pareto a descoperit că cifrele cumulative privitoare la venit urmau, aproape exact şi în mod constant, pe o perioadă lungă de timp, în diferite ţări, o formă care urmează o lege de $1/n^{1,5}$ — adică exact la jumătatea distanţei dintre cele două forme arătate mai sus. De ce există oare o asemenea lege empirică şi de ce este ea atît de deosebită de legile uzuale ale erorilor, de loviturile de copite de cal şi de alte distribuţii de probabilitate?

Cred că motivul rezidă în simplul fapt că numărul de publicaţii nu este o măsură liniară aditivă de productivitate, în felul cerut de distribuţiile lui Gauss. Punctul nostru de demarcaţie nu este media între punctajul cel mai înalt şi cel mai scăzut, ci mai curînd media lor geometrică. Se simte intuitiv că pasul de la trei la şase lucrări este, mai curînd, asemănător aceluia de la 30 la 60 de lucrări decît de la 30 la 33. Pentru toate aceste motive este rezonabil să credem că ne găsim în prezenţa a ceva asemănător cu legea aproximativă a lui Fechner sau a lui Weber din psihologia experimentală, în care măsura reală a reacţiei nu este luată după mărimea stimulului, ci după logaritmul acestuia; trebuie

[10] Legea a fost formulată în amănunt de V. Pareto în *Cours d'économie politique* (1897), vol. 2, pp. 299—345.

să avem intervale egale de efort, care să corespundă unor rații egale ale numărului de publicații[11].

Putem defini „soliditatea" unui om, *s* (cît este de „solid" individul?) ca fiind logaritmul punctajului său de lucrări din cursul vieții sale. Logaritmul numărului de oameni, care au cel puțin *s* unități de „soliditate" în materie de productivitate, va începe prin a scădea liniar cu *s*, apoi mai repede pe măsură ce se apropie de limita superioară de 1 000 de articole, cifră care nu a fost depășită de nimeni. Cu alte cuvinte, pentru fiecare creștere cu o unitate a solidității, numărul de oameni care parvin la o atare soliditate se micșorează cu un factor aproape constant. Dar, această scădere a populației pe baza unui factor constant pentru fiecare unitate de creștere a lui *s* este exact ceea ce găsim la extremitatea unei distribuții normale de probabilitate. De pildă, dacă luăm distribuția normală a testului de inteligență A.G.C.T. care este astfel întocmit încît norma prevăzută pe scară este de 100, o jumătate a populației va fi deasupra, iar cealaltă jumătate dedesubtul ei, iar dispersia de așa fel încît cuartilele sînt situate la 80 și la 120 (adică deviația standard este de 20). În acest caz pentru punctajele de peste aproximativ 140

[11] Vezi textul din Galton referitor la notele obținute de concurenți la concursurile de matematică din Cambridge. Punctajele lor, cît se poate mai apropiate de o scară deschisă obiectivă de merite, erau de așa fel încît candidatul din vîrf din fiecare an obține aproape de două ori mai multe puncte decît cel de-al doilea și de trei zeci de ori mai multe decît al 100-lea candidat. Caracterul logaritmic normal al productivității științifice a fost sugerat anterior de William Schockley în *On the statistics of individual variations of productivity in research laboratories* (Despre statistica variațiilor individuale ale productivității în laboratoarele de cercetări), în „Proceedings of the Institute of Radio Engineers", 45 (1957), p. 279, p. 1409.

(ca și pentru cele de mai puțin de 60) numărul cazurilor de la extremitățile distribuției scade cu un factor egal cu 10 pentru fiecare 10 puncte ale scării. Dacă măsurăm „soliditatea" prin logaritmi cu baza 10, în acest caz fiecare unitate de s corespunde la circa 11 puncte de pe scara A.G.C.T. pentru toți, în afară de oamenii de știință cei mai „solizi", pentru care ea se urcă pînă la circa 20 de puncte[12].

Prin urmare, legea lui Pareto poate fi considerată ca nefiind altceva decît rezultatul combinării unei probabilități rezonabile de distribuție a capacităților cu o măsură a eficacității acestor capacități potrivit legii lui Fechner. În cazul productivității științifice găsim o explicație, cu bază teoretică — tot atît de fericită — pentru forma legii empirice. Singura deosebire între distribuția venitului și a lucrărilor sau între distribuția mai generalizată descoperită de Zipf, pentru a explica aproape totalitatea distribuțiilor naturale de obiecte aranjate în ordinea mărimii, este aceea că pentru știință există o limită superioară precisă a cantității pe care un om o poate realiza într-o viață.

Singura incertitudine care ne rămîne cu privire la noua lege a distribuției normale a solidității științifice este aceea că nu știm unde să așezăm începutul scării. Care punctaj din A.G.C.T. corespunde situației $s = 0$, care este situația minimală a unei singure publicații

[12] Cu alte cuvinte, pentru cazurile în care punctele obținute la testele de inteligență depășesc 140, respectiv sînt sub 60, numărul cazurilor înregistrate scade de 10 ori mai mult decît diferența punctajelor înregistrate. Astfel, de exemplu, la o trecere de la 140 la 150 de puncte (o diferență de 10 puncte), numărul cazurilor înregistrate este de 10 ori mai mic, ceea ce se explică prin faptul că curba de distribuție a lui Gauss are forma de clopot *(N.T.)*.

științifice în decursul unei vieți? Dacă, fără a altera normele minime, presupuse absolute și obiective, pentru o lucrare științifică, s-ar putea ca fiecare membru al populației să fie convins să parcurgă treptele învățămîntului și ale formării profesionale și să încerce să atingă această țintă, cît de numeroși vor fi acei care vor reuși?

Este extrem de greu de răspuns la această întrebare, căci, pe lîngă volumul mare de teste de inteligență generală, nivelul de componență al metodei cantitative este scăzut atunci cînd ea este aplicată pentru a decide ce anume favorizează creativitatea științifică. Pe baza teoriei noastre recent dobîndite, putem risca formularea unei conjecturi numai pe baza testelor de inteligență. Investigațiile fundamentale efectuate de Harmon[13], asupra lucrărilor promoției din anul 1958 de doctori în științe din Statele Unite, ne permit să facem unele afirmații asupra incidenței și asupra caracteristicilor testului de inteligență ale acestui grup. Nivelul doctoratului în științe și al normelor editoriale ale publicațiilor periodice savante sînt elemente pe care ne-am străduit să le menținem constante. Este deci rezonabil de a identifica efortul minim cerut pentru redactarea unei singure lucrări științifice, cu acela care se cere pentru trecerea prin „poarta diplomei" înspre calea cercetării. Deși s-a admis că aceste condiții nu coincid, deoarece unii doctori în științe nu-și publică niciodată tezele, în timp ce mulți autori nu sînt doctori,

[13] Lindsley R. Harmon, *The High School Backgrounds of Science Doctorates* (Fondul de pregătire medie a doctorilor în științe), în „Science" 133 (10 martie 1961), 679, publicat și *in extenso* în „Scientific Manpower" (NSF 61—34, mai 1961), pp. 14—28.

totuşi în cazul cel mai rău diferenţa dintre aceste două categorii ar trebui să reprezinte o rată constantă rezonabilă, nu prea îndepărtată de unitate.

Harmon a descoperit că într-un grup de populaţie de aceeaşi vîrstă numărînd circa 2 400 000 de indivizi se produce o „recoltă" anuală de aproximativ 8 000 doctori în ştiinţe din toate domeniile, ştiinţele fizice şi biologice însumînd aproximativ jumătate din total. După cum era de aşteptat, punctajele testelor de inteligenţă pentru acest grup erau considerabil mai ridicate decît nivelul general, media fiind A.G.C.T. 130,8 potrivit modului[14] distribuţiei. Considerate pe domenii, s-a constatat o variaţie de la 140,3 pentru fizică la 123,3 pentru doctorii în pedagogie.

Fizică	140,3
Matematică	138,2
Ştiinţe tehnice (inginerie)	134,8
Geologie	133,3
Arte şi ştiinţe umaniste	132,1
Ştiinţe sociale	132,0
Ştiinţe naturale	131,7
Chimie	131,5
Biologie	126,1
Pedagogie	123,3

Cînd aceste date au fost aplicate populaţiei în general, în aceeaşi grupă de vîrstă, a reieşit că la cel mai înalt nivel de inteligenţă înregistrat, A.G.C.T. 170 +, aproximativ o persoană din cinci era posesoare a unui doctorat în ştiinţe, deşi incidenţa doctoratelor în aceeaşi

[14] *Mod* în statistică reprezintă acea valoare a unei variabile aleatoare pentru care densitatea de repartiţie este maximă. *(N.T.)*.

grupă era de numai 1 la 3 000. Astfel, inteligența are o legătură importantă cu obținerea unui doctorat în științe. Dacă considerăm acum plauzibil că acest raport curent de unu la cinci se referă la acele ființe superioare care devin oameni de știință de mare productivitate, trebuie să ne gîndim să folosim orice mijloace, corecte și incorecte, pentru a face să dispară discrepanțele, astfel ca toți să poată obține un doctorat în filozofie sau chiar un doctorat în științe.

În prezent, știm că numărul total al oamenilor de știință crește, mai mult sau mai puțin, cu pătratul numărului celor de calitate. De aceea, dacă voim să înmulțim cu cinci numărul oamenilor de știință de calitate trebuie să înmulțim întreaga grupă cu 25. În acest caz, în locul unei grupe de aceeași vîrstă de aproximativ 8 000 de doctori în diferite discipline, ar trebui să avem circa 200 000, numai în știință. În realitate, distribuția inteligenței ne arată că într-o grupă de aceeași vîrstă de 2 400 000 indivizi, puțini peste 160 000 realizează un punctaj A.G.C.T. de 130, astfel că avem o linie de demarcație minimală pentru eventualii oameni de știință, care este cu puțin mai coborîtă decît modul actual stabilit pentru doctori, atît în știință cît și în alte domenii. Astfel, cele două metode ne indică același lucru, că cel mult 6 pînă la 8 la sută din populație ar putea fi oameni de știință ce îndeplinesc condițiile minimale.

Prin urmare, scara de soliditate referitoare la publicațiile științifice ar trebui să aibă gradul zero așezat la un nivel A.G.C.T. de circa 130, ceea ce corespunde la o persoană din 15 dintr-un grup de aceeași vîrstă. Deși adoptarea acestui punct de demarcație pare atrăgătoare, prin faptul că el corespunde atît de bine cu norma prezentă pentru doctori, implicațiile sale sînt

grave. La prima vedere se pare că în prezent se recurge numai la aproximativ un singur individ din cei 25 care ar putea deveni oameni de știință și numai la o cincime din aceia care ar putea deveni oameni de știință remarcabili. Dacă s-ar aduna toate resursele de talent ale populației, fără pierdere sau risipă, ar putea exista în acest caz 8 000 000 de oameni de știință în Statele Unite[15], care ar scrie articole, și din aceștia 80 000 ar fi foarte productivi, avînd fiecare un număr de peste 10 lucrări. Astfel, ar trebui să avem o listă de 40 000 de oameni de știință la un milion de locuitori, iar dintre aceștia 400 dintr-un milion ar fi oameni remarcabili. Reamintim că Galton a găsit aproximativ 5 pînă la 10 oameni de știință eminenți într-o populație de un milion, iar primele volume din *American Men of Science* indicau 50 dintr-un milion. Astfel, în privința densității oamenilor de știință remarcabili, ne rămîne cel mult încă un ordin de mărime și este puțin probabil că știința va acapara, chiar în dauna tuturor celorlalte ocupații care cer un mare talent, mai mult de 8 la sută din populație. Chiar și în această situație, se pare că randamentul descrescînd în oameni de știință remarcabili, la fiecare 100 de doctori în știință, va îngreuia din ce în ce mai mult atingerea unui nivel de această mărime. Cît de puternică este această limitare? Este, oare, cu putință ca numărul de oameni de știință de calitate să nu poată crește de cinci ori, astfel cum am presupus?

Aproape o jumătate din acest factor revine risipei de forță de muncă științifică feminină, risipă pe care U.R.S.S. a stăvilit-o parțial, dar pe care se pare că noi nu sîntem în măsură s-o evităm. Un alt factor egal cu

[15] Aceasta reprezintă mai mult decît îndoitul numărului oamenilor de știință din întreaga lume.

doi ar putea fi atribuit lipsei de condiţii favorabile şi de stimulenţi din regiunile situate înafara marilor oraşe unde există şcoli bune, în care concurenţa şi inspiraţia sînt prezente. Într-adevăr, luînd totul în consideraţie, marea proporţie de forţă de muncă talentată care în prezent se îndreaptă cu succes către ştiinţă constituie un motiv de laudă. Dar dacă nivelul nu poate creşte în fapt, atunci ne aflăm, după cum am şi presupus, aproape la jumătatea drumului înspre saturaţia de la capătul de sus al scării, iar orice creştere a numărului oamenilor de ştiinţă trebuie să aducă după sine o preponderenţă şi mai mare a forţei de muncă capabilă să întocmească lucrări ştiinţifice, dar incapabilă de o serie de lucrări ştiinţifice remarcabile. Aceasta provoacă o serioasă îndoială cu privire la modul în care gîndim viitorul învăţămîntului ştiinţific. Merită el, oare, multe sacrificii?

Cred că acum am stabilit baza teoretică pentru acest studiu al ştiinţei. Ea este izbitor de asemănătoare cu studiul econometriei. Pe de o parte avem abordarea dinamică care ne procură serii cronologice, la început cu creştere exponenţială şi apoi cu creştere saturată, care are drept rezultat curbe logistice normale. De cealaltă parte avem statica unei legi de distribuţie asemănătoare aceleia a lui Pareto. Măsura diferenţei între analiza ştiinţei şi analiza economiei rezidă în parametrii folosiţi. Partea principală exponenţială a creşterii ştiinţei se dublează în numai 10 ani, ceea ce reprezintă o viteză mult mai mare decît în orice alt domeniu; indicele caracteristic al legii distribuţiei este egal cu unu la capătul de jos şi cu doi la capătul de sus, în loc de a fi în mod uniform 1,5.

Contribuţiile adiţionale aduse de noi constau în procurarea unei baze teoretice judicioase pentru legea lui

Pareto şi în demonstraţia că, deşi numărul mediu de lucrări pe autor rămîne sensibil constant, se poate face o demarcaţie între cei cu înaltă productivitate şi între masa mai largă a autorilor a căror productivitate este scăzută. Se constată că această masă creşte în raport cu pătratul numărului celor cu punctaj ridicat, motiv pentru care numărul celor cu punctaj ridicat se va dubla numai la fiecare interval de 20 de ani.

Principiul legii lui Fechner, pe care l-am invocat pentru a reduce distribuţia de tip Pareto la genul de măsură liniară şi aditivă, care este necesară pentru o curbă de probabilitate normală, este mult mai puternic decît am presupus la început. Dacă am putea privi în general soliditatea unui volum de publicaţii, astfel cum ea este măsurată prin logaritmul numărului de lucrări, — atunci apar consecinţe interesante noi. Să examinăm legea de creştere exponenţială mai sus menţionată ca o condiţie universală a unei ştiinţe în dezvoltare liberă. Evident, soliditatea acestui domeniu, logaritmul numărului de lucrări, creşte liniar cu timpul. Astfel, din moment ce este nevoie de aproximativ 50 de ani pentru ca numărul oamenilor de ştiinţă sau numărul lucrărilor dintr-un domeniu să crească de zece ori, creşterea soliditătii cu o unitate se produce la fiecare semicentenar[16].

Nu-mi pot da seama foarte bine de ce lucrurile se petrec în acest mod, sau de modul în care am putea

[16] În consecinţă, aceasta oferă o măsură care este liniară şi nu exponenţială. Ea reprezintă genul de indice care ar putea corespunde cu premiile Nobel (care după modul lor de organizare sînt acordate liniar în funcţie de timp); este posibil de asemenea ca ele să corespundă cu progresele neaşteptate, cruciale.

judeca altfel decît prin intuiție pură, dar cele două unități de soliditate, care separă pe omul care nu poate publica decît o singură lucrare în timpul unei vieți de acela care poate scrie o sută asemenea lucrări, sînt esențialmente aceleași cu cele care separă cele două stadii ale unui subiect la epoci distanțate de un secol. În termeni aproximativi și care pot induce în eroare, se poate spune că omul de știință eminent este cu un secol înainte față de omul de știință de importanță minoră.

Ce alte implicații mai urmează din supoziția că progresul realizat într-un domeniu poate fi măsurat prin mersul liniar al solidității sale? Sînt oare aceste grade de soliditate cu adevărat aditive? Trebuie oare să considerăm că un domeniu în care sînt angajați o sută de lucrători și în care ei adaugă două unități de soliditate într-un interval dat de timp este inferior față de 10 domenii separate a cîte 10 lucrători, fiecare dintre ei adăugînd fiecăruia din aceste domenii cîte o unitate, ceea ce reprezintă un total de 10 unități pentru același interval de timp?

Dacă o asemenea indicație ar fi adevărată s-ar părea că știința are o înclinație puternică să-și minimizeze soliditatea în loc de a o mări cît mai mult. Dincolo de fenomenul creșterii exponențiale, știința manifestă în diferite moduri tendința de a se cristaliza, în sensul că obiectele mari cresc în dauna celor mici. Domeniile mari par a absorbi forța de muncă și a acapara materia celor mici. Deși domenii noi, departamente noi, instituții și chiar țări noi apar pe scena științifică în număr din ce în ce mai mare, cele cîteva domenii mari preexistente au o creștere naturală, care le permite, în general, să-și păstreze avansul. Este mai curînd o ex-

cepție, decît regula, ca formațiile cele mari să-și slăbească creșterea — probabil din cauza prezenței unui fel de plafon logistic, care le obligă să stagneze — și să fie întrecute, astfel încît să scadă în rang.

În realitate, faptul că creșterea generală a științei mărește atît dimensiunile marilor domenii cît și numărul domeniilor mici, deși prezintă o aparență de cristalizare, nu este atît de straniu. Exact același lucru se întîmplă atunci cînd crește populația unei țări. În loc de a fi distribuită în mod uniform pe suprafața întregii țări, ea se cristalizează în blocuri de diferite dimensiuni denumite orașe. Creșterea orașelor dintr-o țară oferă un model util pentru creșterea blocurilor științifice din sînul științei. Se întîmplă ca ordinea ierarhică a orașelor sau a altor blocuri aranjate în ordinea descrescîndă a dimensiunii să mai ofere o exemplificare a aceleeași distribuții de tip Pareto, pe care am găsit-o și la productivitatea autorilor științifici.

În cazul orașelor, statisticile istorice oferă un bun exemplu al unei asemenea distribuții care este în curs, în care fiecare entitate crește exponențial, în timp ce distribuția se menține normală (fig. 15)[17]. Prin folosirea unei diagrame, care arată distribuția în fiecare deceniu, se poate observa panta constantă a distribuției pe o scară dublu logaritmică, precum și mersul inexorabil al segmentelor care ne indică pe una din scări dimensiunile orașului celui mai mare, iar pe cealaltă scară numărul orașelor de dimensiuni minime

[17] Fig. 15 și datele care urmează sînt luate de la G. K. Zipf, *Human Behavior and the Principle of Least Effort* (Comportarea umană și principiul minimului de efort), Cambridge, Mass, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1949, p. 420, fig. 10—2.

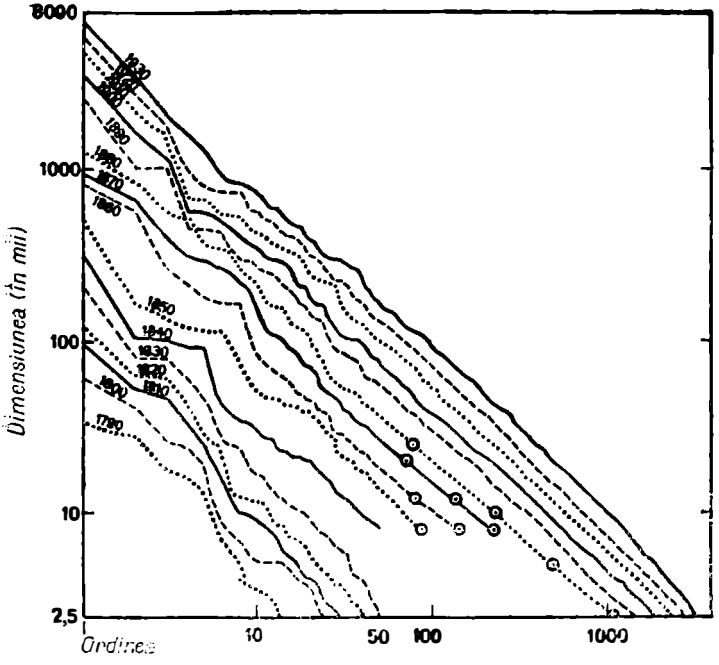

FIG. 15. STATELE UNITE, 1790–1930

Aşezările de 2 500 sau mai mulţi locuitori sînt înşiruite în ordinea descrescîndă a numărului populaţiei. De notat că distribuţia la orice dată arată că dimensiunea scade uniform o dată cu rangul; pe măsură ce oraşele devin mai numeroase şi se măresc toate ca dimensiune, modelul de distribuţie este menţinut, curba micşorîndu-se paralel cu ea însăşi, cu o rată constantă. Din George K. Zipf, *Human Behavior and the Principle of Least Effort*, Cambridge, Mass, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1949, p. 420, fig. 10–2.

(aci considerate cu o populaţie de 2 500). Ambele cresc regulat în fiecare deceniu, fiecare din ele parcurgînd circa 60 de ani pentru a creşte de 10 ori[18] sau, după

[18] În formularea autorului: „pentru a parcurge o [unitate de] putere a lui 10"; (adică pentru ca exponentul lui 10 să crească cu o unitate). Ideea autorului devine clară prin consultarea figurii 15, unde pe scara ordonatelor se poate vedea că curba dimensiunii oraşelor trece între anul 1810 şi 1870

cum am denumit-o înainte, cu o unitate de soliditate. Dacă am privi amănunțit istoria vieții oricărui oraș, am vedea că el își schimbă rangul cu trecerea timpului, după cum este depășit sau depășește alte orașe; totuși distribuția statistică este remarcabil de constantă.

Acest model general, care poartă toate implicațiile analizei noastre anterioare a distribuției productivității, este urmat cu destulă conformitate de listele ierarhice atît de diverse, precum sînt acelea care ne dau dimensiunile facultăților sau ale doctorilor în științe pe deceniu, ale departamentelor științifice din colegii, în anumite domenii sau, în general, în Statele Unite ori în lumea întreagă. El este urmat de liste întocmite pe ranguri, care arată contribuțiile științifice, exprimate în lucrări, reviste sau cheltuielile efectuate de națiunile globului, a căror gamă se extinde de la numărul redus al marilor producători, pe orice scară relativă sau absolută, pînă la producția minoră a marelui număr de țări subdezvoltate[19].

Cu privire la acest proces există același gen de „nedemocrație"[20] esențială, inerentă, care a dat naștere mai curînd unei națiuni de orașe decît unei țări care să se apropie continuu de situația unei densități uniforme a populației. Oamenii de știință tind să formeze congregații pe domenii, instituții, țări și pentru folosirea

(interval de 60 de ani) de la valoarea de 100 (pe scara ordonatelor) la valoarea de aproape 1 000. Aceeași creștere poate fi observată și pentru curbele dimensiunii orașelor între anul 1870 și anul 1930; în acest caz creșterea este ceva mai mică decît de 10 ori (*N.T.*).

[19] Vezi studiul preliminar al periodicelor științifice, efectuat de Biblioteca Congresului (S.U.A.).

[20] Termenul folosit de autor este „undemocracy". (*N.T.*).

anumitor reviste. Ei nu se împrăştie în mod uniform, oricît ar fi sau nu de dorit aceasta. În special, creşterea este de aşa natură încît ea păstrează relativ constant echilibrul dintre puţinii uriaşi şi masa pigmeilor. Numărul uriaşilor creşte într-un ritm atît de redus faţă de creşterea întregii populaţii, încît numărul pigmeilor raportat la fiecare uriaş trebuie să crească, pigmeii deplorînd statura lor redusă şi mirîndu-se că nici omul şi nici natura nu ne împing către o uniformitate egalitară.

Înlăturînd judecăţile de valoare, apare limpede că existenţa unei distribuţii rezonabile, care ne arată cîţi oameni, cîte lucrări, cîte ţări ori reviste există la fiecare rang de productivitate, de utilitate sau de orice alte elemente ce am voi să măsurăm, ne oferă un instrument viguros. În loc de a încerca obţinerea preciziei în definirea elementelor ce trebuie calculate în creşterea exponenţială, se poate face un calcul brut, care să fie interpretat cu ajutorul unei asemenea distribuţii.

După cum nu pot fi măsurate vitezele individuale ale tuturor moleculelor dintr-un gaz, tot aşa nu se pot măsura gradele de eminenţă ale tuturor oamenilor de ştiinţă. Totuşi, există temeiuri rezonabile pentru a afirma că dacă s-ar efectua astfel de măsurători ele ar urma distribuţia standard. În special se poate lua ca ipoteză această distribuţie de tip Pareto pentru a vedea modul în care rezultatele concordă cu fenomenele brute care pot fi măsurate. În fapt, se va găsi o concordanţă convingătoare.

Prin urmare, aceasta este, în mare, matricea matematică a creşterii exponenţiale a declinului logistic şi a funcţiilor de distribuţie. Ea ne oferă acum o descriere generală a expansiunii normale a ştiinţei şi a stadiului

său în orice epocă. Cunoscîndu-i în prezent comportarea regulată, posedăm un instrument puternic pentru cercetarea iregularităţilor semnificative injectate în sistem prin perturbaţiile grave ale războaielor şi ale revoluţiilor, prin naşterea şi moartea logistică a entităţilor măsurabile, prin geniu şi prin descoperiri cruciale şi, pe scurt, prin toate schimbările organizatorice din cadrul ştiinţei şi în relaţiile sale cu statul şi cu societatea în general.

(3)

Colegii invizibile şi „navetistul" ştiinţific opulent

Din toată discuţia asupra creşterii exponenţiale şi a distribuţiei productivităţii ştiinţifice s-ar putea crede că lucrările ştiinţifice nu se produc decît pentru a fi numărate de către decani, administratori şi istorici şi că eforturile unui om de ştiinţă ar trebui îndreptate către producţia unui număr maxim de lucrări. Aceasta este departe de adevăr. O reacţie, aproape instinctivă împotriva acestui nonsens al numărătorii constă în a admite că fiecare lucrare reprezintă cel puţin un cuantum de informaţie ştiinţifică utilă şi că unele lucrări unice se pot ridica atît de mult deasupra acestei valori a cuantumului, încît numai pentru această unică contribuţie autorul lor merită să fie preţuit mai mult decît o sută de scriitori luaţi la întîmplare şi chiar mai mult decît o sută de scriitori mai prolifici.

Pentru a îmbrăţişa punctul de vedere opus şi pentru a privi mai profund rezultatele tangibile ale muncii ştiinţifice decît printr-o simplă numărătoare, trebuie să avem cunoştinţe considerabil mai multe despre instituţiile sociale ale ştiinţei şi despre psihologia omului de ştiinţă. Obiectivul primar al omului de ştiinţă nu este, în definitiv, publicarea de articole ştiinţifice. Ceva mai mult, articolul nu este pentru el pur şi simplu un mijloc de transmitere a cunoaşterii.

Să aruncăm o privire asupra istoriei articolului ştiinţific. Începutul său se datorează faptului că au existat prea multe cărţi. Iată un strigăt care porneşte din inima unui învăţat:

„Una din maladiile acestui veac este mulțimea de cărți: lumea este atît de supra-împovărată cu ele, încît nu este în stare să digere abundența de materie inutilă, care este produsă zilnic și răspîndită în lume".

Este un imbold spre moderație să aflăm că aceste cuvinte au fost scrise de exuberantul Barnaby Rich, în 1613, cu o jumătate de secol înaintea nașterii revistei științifice. Apariția periodicului savant a creat speranțe că se va pune capăt acestui rău al supraîmpovărării. Dezvoltîndu-se în același timp și în același spirit cu ziarul, publicațiile de tipul *Philosophical Transactions of the Royal Society* au îndeplinit funcțiunea declarată de a rezuma cărțile și lucrările savanților din întreaga Europă. Prin aceste reviste cititorul, oricare ar fi fost el, se putea informa fără a recurge la rețeaua corespondenței personale, a comunicărilor particulare sau fără a fi nevoit să frunzărească cărțile prin librăriile Europei, lucruri care pînă atunci erau esențiale.

Totuși, la început, ele nu au redus cu nimic din obligația savanților de a citi și de a scrie cărți. Scopul lor inițial era social, de a descoperi ce se lucra și de către cine anume, mai curînd decît scopul urmărit de un erudit de a publica știință nouă[1].

Publicarea inițială de articole scurte, de către autori izolați a fost o inovație deosebită în viața științei și, ca orice inovație, a întîmpinat o rezistență considerabilă

[1] Totuși, apăruseră mai înainte publicații ale academiilor savante, avînd calitatea de corpuri constituite, angajate în experimentele și încercările pentru care fuseseră înființate. *Saggi*, aparținînd instituției Accademia del Cimento, care a precedat societățile din Londra și Paris, este un volum de bune articole de cercetare, publicate într-o singură carte completă și definitivă și nu sub formă de serie.

din partea oamenilor de știință. Barber[2] a arătat că o atare rezistență face parte dintr-un mecanism vital de conservatorism înnăscut în corpul științei. Este o contrapondere firească față de creativitatea cu vederi largi, care inundă știința cu prea multe idei noi, și de obiectivitatea acută, care ne oferă un mijloc virtual de a decide între adevăr și neadevăr.

O asemenea rezistență împotriva practicii noi și aparent ilicite, de a publica articole în locul cărților oneste, este de observat în cazul lui Newton. Controversele referitoare la articolele sale asupra opticii din *Philosophical Transactions* erau pentru el un izvor de adîncă mîhnire, iar ulterior el nu s-a mai putut împăca cu ideea de a publica ceva înainte ca lucrarea să capete forma cuvenită unei cărți terminate, care tratează subiectul de la început pînă la sfîrșit și care să preîntîmpine toate obiecțiile și argumentele lăturalnice, ce se puteau închipui. Dacă revista ar fi fost în vremea aceea un mijloc efectiv de comunicare, poate că lucrarea sa *Principia* nu ar fi apărut niciodată. Poate că ar trebui să începem prin a neglija articolele scrise de un autor și să luăm în considerare cărțile sale.

Pînă cu aproximativ un secol în urmă, transformarea revistei științifice în forma sa modernă nu era completă. Înaintea acestei epoci a existat o largă publicație de „crîmpeie" științifice, precum ar fi simpla mențiune a ceva ce fusese realizat sau o dare de seamă asupra observațiilor care fuseseră făcute și publicate în altă parte. Au existat, de asemenea, multe publi-

[2] B. Barber, *Resistance by Scientists to Scientific Discovery* (Rezistența din partea oamenilor de știință la descoperirea științifică), în „Scientific Manpower" 1960, National Science Foundation Publication NSF 61—34, mai 1961, pp. 36—47.

cații monografice, care puteau, ele însele, să alcătuiască cărți, dacă ar fi existat mijloace pentru imprimarea și distribuirea lor în condiții rentabile. Pînă și în anul 1900 unele din cele mai respectate reviste nu conțineau nici un singur articol științific comparabil cu cele de tipul actual. Diferența nu constă numai în lungime — dacă articolele sînt prea scurte sînt scrisori, iar dacă sînt prea lungi sînt monografii.

Mai curînd aș stabili o deosebire în modul de înmulțire a articolelor. Aceasta este în legătură cu modul în care fiecare articol este construit pe baza articolelor anterioare și care apoi constituie, la rîndul său, unul din numeroasele puncte de pornire pentru următorul articol. Manifestarea cea mai vădită a acestei construcții savante este citarea de referințe. Nu se poate presupune că toți autorii au fost exacți, consecvenți și conștiincioși în însemnarea izvoarelor de care s-au folosit. Unii au făcut prea puțin, iar alții prea mult. Dar, îndeobște, se poate observa din viața îndelungată a oricărui periodic științific, că în jurul anului 1850 apare modelul modern obișnuit de referire explicită la lucrările anterioare, pe care se bazează contribuția distinctă, bine construită, care este sarcina ideală a fiecărui articol. Înaintea acestei epoci, deși notele de subsol sînt tot atît de vechi ca și erudiția însăși — de comparat termenul însuși de *scholia*[3] folosit în trecut pentru notele de subsol — nu exista nimic asemănător acestei atitudini cu privire la sporirea cunoștințelor.

Dacă, prin urmare, prototipul articolului științific modern este mai curînd o practică socială și nu o

[3] Scholion (sing.) = notă marginală, comentariu explicativ. (*N.T.*).

tehnică de acumulare a unor cuante de informații, care a fost oare forța puternică, care i-a dat naștere și care l-a menținut în viață? Fără nici o îndoială, motivul a fost instituirea și păstrarea proprietății intelectuale; adică nevoia, resimțită de oamenii de știință, de a-și revendica, ca fiind ale lor proprii, cunoștințele noi dobîndite — arta stabilirii drepturilor de prioritate, care nu este niciodată lipsită de duritate.

Robert Merton a analizat în două articole[4] în care a sesizat just faptele, felul în care revendicările și disputele de prioritate au fost prezente mereu de-a lungul celor cîteva secole trecute ale științei. Fenomenul apare ca un fir conducător în istoria științei, întrețesut în întîmplările tuturor oamenilor, în toate țările. Se cuvine să constatăm că înțelegerea caracterului social al acestor dispute este mai importantă pentru istorie, decît simpla rezolvare a revendicărilor respective.

Rezultă clar din dovezile disponibile că descoperirea multiplă (simultană) — adică descoperirea de către doi sau mai mulți indivizi, care lucrează separat — are loc cu o frecvență remarcabilă, că ea dă naștere deseori unor discuții între părțile în cauză cu privire la prioritate și că disputele pot fi însoțite de cele mai amare și violente patimi de care sînt capabili protagoniștii. Multe

[4] Robert Merton, *Priorities in Scientific Discovery: a Chapter in the Sociology of Science* (Priorități în descoperirile științifice: un capitol al sociologiei științei), în „American Sociological Review", 22/1957, 635; *Singletons and Multiples in Scientific Discovery: a Chapter in the Sociology of Science* (Unicatele și multiplii în descoperirile științifice; un capitol al sociologiei științei), în „Proceedings of the American Philosophical Society, 105/octombrie 1961, p. 470.

lucruri importante despre viața științei se pot învăța din această analiză.

Mai întîi, această multiplicitate a descoperirii capătă proporții atît de mari în atît de multe cazuri, încît putem fi convinși că ea este un fapt larg răspîndit și nu o raritate întîmplătoare. După cum observă Galton: „Cînd merele sînt coapte ele cad ușor". Putem merge mai departe, așa cum a făcut-o Kuhn[5], și să observăm că deși unele descoperiri, ca de pildă aceea a razelor X sau a oxigenului, ne iau complet prin surprindere, există multe, mult mai multe descoperiri care sînt mai mult sau mai puțin așteptate și în direcția cărora lucrează simultan mai mulți oameni. Această din urmă categorie este tocmai aceea în care se întîlnește descoperirea multiplă și prioritatea disputată, deși este probabil că cei angajați în discuție ar susține cu înflăcărare că importanta lor descoperire nu era de loc așteptată și că adversarul lor, fie că a furat ideea, fie că n-a făcut decît să descopere prin inadvertență numai o parte a lucrului esențialmente nou.

Cifrele citate de Merton și Barber[6], privind incidența istorică a descoperirilor multiple de diferite grade, ne dau putința să verificăm, într-un mod extrem de instructiv, modelul pomenit al „mărului copt". Dacă sînt 1 000 de mere într-un pom și dacă 1 000 de oameni legați la ochi se străduiesc să culeagă la întîmplare un măr, care sînt oare șansele pentru un om de a obține un

[5] Thomas S. Kuhn, *Historical Structure of Scientific Discovery* (Structura istorică a descoperirilor științifice) în „Science" 136, 1 iunie 1962, p. 760.

[6] Citate de R. Merton în *Proceedings of the American Philosophical Society* (Analele Societății Filozofice Americane), 105, octombrie 1961, p. 483.

măr sau de a apuca mîna unui alt culegător sau chiar mai multe mîini? Aceasta este o întrebare directă de probabilitate statistică. Cu ajutorul distribuţiei Poisson aflăm că 368 de oameni vor reuşi şi că restul de 623 de oameni va fi implicat în 264 de cazuri de revendicări contestatare:

Tabelul 3

DISTRIBUŢIA POISSON ŞI DESCOPERIREA SIMULTANĂ

Numărul de descoperiri simultane	*Cazuri după datele lui Merton*	*Cazurile referitoare la 1 000 de mere şi oameni*
0	nedeterminate	368
1	lipsesc datele	368
2	179	184
3	51	61
4	17	15
5	6	3
6 sau mai multe	8	1

Concordanţa dintre aşteptări şi fapte, cel puţin pentru dublete, triplete şi cuadruplete de descoperiri simultane, este izbitoare, dar nu trebuie să i se atribuie o prea mare încredere. Pentru a ajusta datele s-au făcut două presupuneri arbitrare: mai întîi că s-a pornit cu 1 000 de culegători sau descoperitori şi apoi că în medie va exista un premiu (o descoperire) pentru fiecare. Prima presupunere este raţională, fiindcă nu se poate evita ajustarea datelor, faţă de un total oarecare al populaţiei. A doua presupunere este mai greu de justificat, mai ales că ea implică 368 de mere care nu au fost culese de loc, adică descoperiri care nu au avut loc din cauza mîinilor care s-au suprapus. Ca o primă aproximaţie notăm, totuşi, că numai 37 la

sută din căutători îşi vor putea stabili pretenţii necontestate şi că restul de 63 la sută va fi în situaţia de descoperire multiplă. În cadrul descoperirilor efectiv realizate, situaţia este ceva mai luminoasă: aproximativ în 58 la sută din cazuri ele aparţin unui singur descoperitor şi numai 42 la sută se împart între doi sau mai mulţi descoperitori.

La a doua aproximaţie datele ne indică mai multe situaţii decît cele aşteptate în condiţiile unor alegeri la întîmplare care implică cinci sau mai mulţi culegători simultani. Poate că merele mai mari şi care par gata să cadă mai repede atrag o mai mare parte de culegători decît li se cuvine, dar aceasta nu constituie decît un amendament minor al fenomenului brut.

Nu toate cazurile de descoperire multiplă sfîrşesc în dispute de prioritate aprig contestate. Merton ne arată că această tendinţă a scăzut pe măsură ce ne obişnuim cu ideea că este firesc să avem descoperiri simultane, proporţia contestaţiilor fiind de 92 la sută în secolul al şaptesprezecelea, de 72 la sută în al optsprezecelea, de 59 la sută în jumătatea a doua a secolului al nouăsprezecelea şi de 33 la sută în prima jumătate a secolului de faţă.

Chiar la aceste procente, patimile deslănţuite şi volumul mare al descoperirilor simultane, care par a fi existat de-a lungul istoriei cunoscute a periodicului ştiinţific, ne face să fim circumspecţi cu privire la rolul acestui mijloc de comunicare. Dacă menirea lui este aceea de a procura informaţii asupra evenimentelor recente, atunci trebuie să recunoaştem că serviciile sale au fost foarte slabe cu privire la împiedicarea suprapunerii cercetărilor. Culegătorii de mere par să acţioneze mai curînd ca şi cum ar fi legaţi la ochi în faţa eforturilor celorlalţi şi nu ca oameni care

posedă din timp informațiile care să-i facă să-și întindă mîinile către unul din numeroasele fructe neatinse. Dacă publicarea articolelor nu are rostul să procure informații asupra evenimentelor recente, nu este cazul că ne mai plîngem de suprapunerea cercetărilor.

Articolul științific pare deci să-și datoreze existența nevoii fixării drepturilor, provocată de desele eforturi suprapuse. Originea sa socială constă în dorința fiecăruia de a-și înregistra dreptul la descoperire și de a-l păstra pentru sine însuși. Numai întîmplător un articol servește ca purtător de informație, înștiințare despre noi cunoștințe, difuzată spre binele întregii lumi și care acordă un avantaj gratuit tuturor concurenților eventuali. În adevăr, în secolele trecute, nu era neobișnuit ca un Galileu, un Hooke sau un Kepler să-și anunțe descoperirea sub forma unei criptograme de litere amestecate unele într-altele pentru a-și păstra astfel prioritatea, fără însă a furniza informația, care ar fi putut ajuta pe rivalii lor. În zilele noastre, așa cum a evidențiat Reif, concurența intensă de a publica „cît mai repede și cît mai mult" pentru cîștigarea de prestigiu a avut drept rezultat o lungă serie de abuzuri și de mari emoții, mergînd de la publicații ilicite în *New York Times* pînă la cazurile rare de pretenții frauduloase[7].

De ce omul de știință procedează în acest mod constituie o altă întrebare. Am sentimentul că răspunsul poate implica o analiză psihologică profundă a caracterului omului de știință. La rădăcina problemei se găsește diferența fundamentală, care există între efor-

[7] F. Reif, *The Competitive World of the Pure Scientist* (Lumea competitivă a omului de știință pură), în „Science" 134, decembrie, 15, 1961, 1957—62.

tul de creație în știință și în artă[8]. Dacă Michelangelo sau Beethoven nu ar fi existat, operele lor ar fi fost înlocuite prin contribuții cu totul diferite. Dacă Copernic sau Fermi nu ar fi existat niciodată, contribuții esențialmente asemănătoare cu ale lor ar fi trebuit să vină de la alți oameni. De fapt, nu există decît o singură lume care trebuie descoperită, iar pe măsură ce fiecare fragment de cunoaștere este dobîndit, descoperitorul trebuie onorat sau uitat. Creația artistului este profund personală, în timp ce aceea a omului de știință are nevoie de a fi recunoscută de către semenii săi. Turnul de fildeș al artistului poate fi o celulă pentru un singur om; turnul de fildeș al omului de știință trebuie să conțină multe apartamente, astfel ca el să fie cazat printre semenii săi.

Din această analiză decurg două implicații importante. Prima: comunicările științifice, prin intermediul articolului publicat, sînt și au fost întotdeauna un mijloc de rezolvare a conflictelor de prioritate, prin stabilirea drepturilor și nu un mijloc de evitare a conflictelor prin transmiterea de informații. A doua: pretențiile asupra proprietății științifice sînt vitale pentru felul de a fi al omului de știință și al instituțiilor sale. Pentru aceste motive oamenii de știință simt un îndemn puternic de a scrie articole, dar unul relativ slab de a le citi. Pentru aceste motive există o organizare socială importantă a oamenilor de știință al cărei scop este să stabilească și să asigure prestigiul și pri-

[8] Un început al unei asemenea analize a fost întreprins de către Karl W. Deutsch în *Scientific and Humanistic Knowledge in the Growth of Civilisation* (Cunoștințele științifice și umaniste în creșterea civilizației), în „Science and the Creative Spirit" (Știința și spiritul creator), Toronto, Ont. University of Toronto Press, 1958, pp. 3—51.

oritatea, pe care ei le doresc, prin mijloace mult mai eficiente decît cel tradiţional al publicaţiei în reviste.

Cînd se vorbeşte despre problema informării în ştiinţă, cred că este important să nu se confunde această materie cu aceea care a fost descrisă mai sus. Timp de trei secole ştiinţa s-a obişnuit efectiv cu o pletoră de descoperiri multiple şi de pretenţii de prioritate contestate. La fiecare cotitură a istoriei trecute era regretabil că ideile lui *X* nu erau cunoscute de *Y*. Această suprapunere a fost cît se poate de supărătoare şi nu există nici o dovadă clară că între timp situaţia s-a îmbunătăţit sau s-a înrăutăţit.

Poate că nu deznădejdea este aceea care ne sfătuieşte să presupunem că ştiinţa a cunoscut o viaţă viguroasă dacă nu chiar fericită, prin faptul că s-a hrănit din dispute şi „paralelisme". Poate că este chiar de dorit ca multe din descoperirile importante să fie repetate de două sau de trei ori, într-un mod separat şi oarecum deosebit. Poate că oamenii înşişi trebuie să recreeze asemenea descoperiri înainte de a păşi cu folos şi efectiv spre stadiul următor. Se pare că în prezent disputele se referă mai puţin la suprapuneri, care cantitativ au rămas aceleaşi, dar este posibil ca aceasta să nu însemne decît că mînia noastră s-a îndreptat împotriva societăţilor, a editurilor, a bibliotecarilor, a editorilor care par a conspira pentru a ne lăsa într-o situaţie care favorizează paralelismele. Totuşi să fim drepţi. Ne putem plînge că ei n-au înlăturat această piatră de poticnire din calea noastră, dar nu ne putem plînge că situaţia s-a înrăutăţit. Este greu de conceput că această situaţie ar fi putut fi mai proastă. Problema noastră referitoare la informare, presupunînd că ar exista o asemenea problemă, este de altă natură.

Să privim mai întîi problema organizării literaturii științifice în termeni de *input* și *output* pentru fiecare om. Am văzut că omul de știință normal poate publica, în decursul vieții sale, un număr de articole care variază de la minimum unu la mai multe sute și că linia de hotar dintre numărul mare sau mic de articole se situează în jurul mediei geometrice a acestor limite. Să examinăm acum cît trebuie să citească omul de știință pentru a produce aceste articole. Este de presupus că la începutul carierei sale, profesorii săi și lectura sa de bază formată de cărți și de literatura curentă pe un anumit subiect l-au plasat în prima linie a cercetării și că de la acest punct, este posibil ca el să fie în măsură să se aventureze singur pe mări necunoscute. Dacă acest om rămîne într-un domeniu în care el este singurul exponent, el nu mai poate citi nimic altceva în afară de propriile sale articole. Aceasta este viața pionierului singuratic, care nu are nevoie să citească reviste și care publică (în cazul cînd o face) numai pentru binele generațiilor viitoare.

Dar, de obicei în viață situația este diferită. Omul care ajunge pe frontul cercetării găsește aci și pe alții de aceeași formație profesională de bază în același domeniu, care se ocupă de aceleași probleme și care caută să culeagă mere din același pom. El va voi să urmărească lucrările acestor indivizi asemănători lui, care sînt rivalii și egalii săi. Acest om va tinde să depășească progresele dobîndite de ei, mai curînd decît să le repete. Față de cîți indivizi se poate comporta în acest mod? Presupun că răspunsul ar fi de ordinul unei sute. Desigur, un individ poate citi un articol pentru fiecare articol pe care îl scrie el însuși. Tot atît de sigur este că el nu poate urmări 10 000 de articole pentru fiecare articol al său, deoarece la acest ritm

omul nostru, care scrie 100 de articole în cursul vieţii, ar însemna să citească un milion de articole, ceea ce echivalează cu peste 60 de articole pe zi.

Un alt mod de a deduce această proporţie este de a ne gîndi la numărul de persoane cu care un om de ştiinţă remarcabil poate face schimb de extrase imprimate sau de manuscrise, poate întreţine corespondenţă profesională şi cu care eventual poate colabora la un nivel rezonabil şi cuprinzător. Editorii păstrează evidenţa cumpărărilor de extrase reimprimate, dar eu nu am cunoştinţă dacă astfel de cifre au fost publicate. Presupunerea mea este că pentru fiecare lucrător ştiinţific există cîteva sute de colegi. Desigur că în cazul nostru, avem de-a face cu numere de oameni *reali* şi nu cu numere de articole datorate unor oameni *eficaci*. În realitate noi citim destule articole scrise de oameni care nu figurează pe listele noastre şi în schimb, ignorăm unele din producţiile propriilor noştri prieteni.

Mai există încă un alt mod de a privi această proporţie. Norma numărului de articole indicate ca referinţe într-o lucrare de cercetare a fost, mulţi ani de-a rîndul, constantă, menţinîndu-se la ceva mai puţin de zece. Dacă presupunem că citim, cu destulă grijă pentru a le putea cita, circa 10 articole pentru fiecare articol pe care îl citǎm efectiv, atunci am avea circa 100 de articole citite pentru fiecare articol publicat. Tendinţa noastră de a repeta cu fidelitate citate din articolele favorite şi din cele mai utile nu face decît să reducă cifra de mai sus.

Se pare, deci, că nu putem mînui decît un input efectiv care nu depăşeşte decît de cîteva sute de ori volumul producţiei noastre. Este posibil ca acei care scriu puţin să dispună de mai mult timp pentru

lectură, decît cei prolifici, astfel că se stabileşte un fel de echilibru. Se poate ca adevăratul cercetător să nu citească de loc, dar în schimb să primească input-ul în alt mod, pe cale orală sau socială. În ansamblu, se poate ţine pasul cu un grup colegial, care cuprinde cîteva sute de membri, dar nu cu un grup de 10 000[9].

Totuşi, din moment ce toate aspectele ştiinţei cresc exponenţial, cu remarcabila rapiditate a unui factor de 10 în 50 de ani, apare limpede că atunci cînd un subiect a atins stadiul în care primii doisprezece protagonişti încep să se alimenteze reciproc din articolele lor şi să-şi urmărească priorităţile şi progresele, este greu de presupus că acest subiect poate rămîne intact ca un domeniu rezervat altei generaţii. Cînd în cursul creşterii naturale el începe să depăşească numărul postulat de cîteva sute de membri, fiecare îşi va da seama de imposibilitatea de a urmări acest domeniu în mod adecvat.

La fiecare stadiu al acestui drum parcurs, lucrările acumulate pot fi condensate în articole de reviste şi chiar în manuale. De pildă, iniţiatorul unui asemenea domeniu — care la sfîrşitul vieţii sale active ar privi în urmă asupra unui număr să zicem de 100 de articole proprii şi a unei liste efective înglobînd lucrările a 100 de colegi — poate reuni o bibliografie de 10 000 de articole, condensate în mod adecvat într-o revizuire critică a stadiului cunoştinţelor în domeniul respectiv. Dar aceasta nu rezolvă problema curentă a unui număr, care depăşeşte cîteva sute de oameni, fiecare dintre

[9] Se poate totuşi explora un grup de această dimensiune sau chiar mai mare, folosind de exemplu unul din periodicele de rezumate pentru a găsi micul grup; (care interesează — *N.T.*).

aceştia încercînd să se ţină la curent cu lucrările celorlalţi.

Unul din modurile tradiţionale de exprimare a unor asemenea grupuri este înfiinţarea unui organ ştiinţific nou, o revistă care constituie mijlocul lor de comunicare. O participare de cîteva sute de membri poate fi sporită la o mie sau chiar mai mulţi indivizi care activează fragmentar sau marginal în cadrul grupului. Dacă se adaugă la aceasta listele de abonamente ale bibliotecilor, care hotărăsc că revista le este utilă, precum şi cota obişnuită de diferite subvenţii, se atinge minimul economic pentru un asemenea efort publicistic.

Incidental, aceasta ne oferă şi un control asupra proporţiei de 100, stabilite de noi. De la începutul ştiinţei s-au publicat aproximativ 10 milioane de lucrări ştiinţifice, la care se adăuga, în cadrul unei dublări la fiecare 10 ani sau al unui spor anual de circa 6 la sută, aproximativ 600 000 de articole noi, anual. Acestea apar în aproape 30 000 de reviste curente, ceea ce înseamnă că fiecare din ele cuprinde în medie 20 de articole pe an. Pe de altă parte, 10 milioane de lucrări implică existenţa a aproximativ trei milioane de autori, majoritatea cărora, datorită creşterii exponenţiale, sînt în viaţă astăzi. Prin urmare, există aproximativ o revistă pentru fiecare 100 de autori. Începînd din secolul al şaptesprezecelea, păcatul obişnuit al tuturor fondatorilor de reviste a fost acela de a-şi închipui că revista lor era cea menită să pună capăt tuturor celorlalte reviste din domeniul special al materiei respective[10].

[10] Merită să cercetăm motivul invocat de aceşti fondatori. De comparat, întîmplarea în care două fetiţe din clasa a patra pun stăpînire pe „clubul lor de dezbateri" printr-o metodă pe

Este îndoielnic că vreun grup format din cititorii unei asemenea reviste a rămas un grup închis după apariţia primului număr. Membrii grupului citesc în mod invariabil mai multe publicaţii decît cele ce le sînt prescrise de către colegul lor editor. Ceva mai mult, membrii altor grupuri descoperă că „meniul" lor poate fi îmbunătăţit, dacă la rîndul lor vin să „vîneze prin braconaj" pe terenul altora. Astfel, deşi nu există decît o medie de 100 de oameni de ştiinţă de fiecare revistă, totuşi această medie se poate ridica la circa 1 000 de oameni de ştiinţă, dacă fiecare om urmăreşte 10 periodice.

Aceste suprapuneri, ca şi acelea din descoperirile multiple generează pasiuni şi reduc eficienţa. Ceea ce se urmăreşte este expansiunea adiabatică[11], care s-ar putea realiza dacă ştiinţa ar putea fi compartimentată în spaţii etanşe, adică dacă un individ dintr-un domeniu n-ar trebui niciodată să-şi extindă lectura de cercetare în nici un alt domeniu. Dar, evident ştiinţa are oroare de o asemenea fragmentare. Chiar separarea chimiei de fizică, atunci cînd materia filozofiei naturii a fost împărţită, a dat naştere, în mod automat, disciplinelor de chimie fizică şi de fizică a chimiei, astfel încît fiecare secţiune a avut nevoie de o permanentă supraveghere din partea celorlalte secţiuni adiacente. Suprapunerea domeniilor de cercetare constituie un fel de embargo, pe care natura îl exercită împotriva impulsului de a diviza şi a stăpîni.

care ele o descriu ca pe un „mijloc drept şi cinstit prin care oricare grup preia orice club — anume captura aparatului de mimeografiat".

[11] Transformarea adiabatică este o transformare care se efectuează fără schimb de căldură cu exteriorul (*N.T.*).

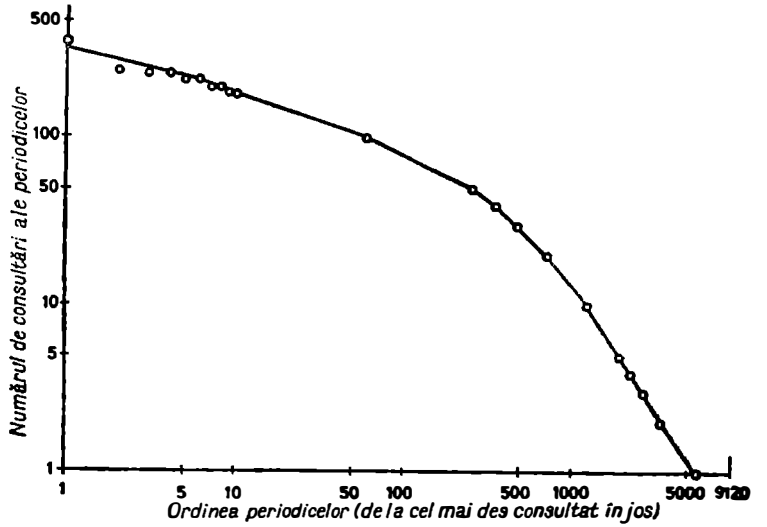

FIG. 16. UTILIZAREA REVISTELOR (ADICĂ NUMĂRUL CONSULTĂRILOR ÎNTR-UN AN DAT) ÎN ORDINEA DESCRESCÎNDĂ A FOLOSIRII LOR

După cum este de aşteptat, revistele nu sînt astfel distribuite încît fiecare număr sau fiecare articol să fie citit de 10 persoane. O lucrare a lui Urquhart[12], devenită clasică, a analizat 53 000 de cereri de împrumut la domiciliu, înregistrate la Biblioteca centrală ştiinţifică din Londra în anul 1956, privitoare la cele 9 120 periodice ştiinţifice diferite din depozitul său, din care peste 1 300 nu erau curente (fig. 16). Peste 4 800 din titlurile curente nu au fost folosite de loc în cursul anului, iar 2 274 au fost folosite o singură dată. La capătul celălalt al scării, revista cea mai solicitată

[12] D. J. Urquhart, *Use of Scientific Periodicals* (Folosirea periodicelor ştiinţifice), International Conference on Scientific Information, National Academy of Sciences National Research Council, Washington D.C., 1958 pp. 277—90. Tab. II, VII.

a avut 382 de cereri, 60 de titluri au fost cerute fiecare de peste 100 de ori, iar o jumătate din cereri au putut fi satisfăcute de 40 de reviste de vîrf. Mai puțin de 10 la sută din periodicele disponibile au fost suficiente pentru a satisface 80 la sută din cereri.

Această distribuție referitoare la rangul pe care-l ocupă revistele este echivalentă aceleia pe care am întîlnit-o în distribuția productivității științifice. Există aceeași curbă Pareto ca și în distribuțiile de venituri sau în dimensiunile orașelor, evident în mare măsură pentru aceleași motive. Astfel, „cititorii revistelor" sînt distribuiți în același fel ca și locuitorii orașelor; există aceeași tendință spre cristalizare și același echilibru între creșterea exponențială a membrilor mai importanți și între numărul crescînd al celor mai puțin importanți. Din moment ce linia despărțitoare este trasată de rădăcina pătrată a întregii populații, se poate afirma că deși există 30 000 de reviste, pentru jumătatea lecturilor efectuate se folosesc numai cele 170 publicații dintre cele mai populare.

Proporțiile folosirii par în mod intuitiv să constituie un test mai bun al calității decît criteriul nostru anterior, al productivității. Din nefericire, deși posedăm cifre care ne arată utilitatea revistelor în termenii ratei lor de folosire de către un număr mare de oameni, nu posedăm cifre comparabile pentru articolele luate individual. Pare aproape inevitabil, chiar numai din motive de ordin calitativ, să fie valabile aceleași condiții și să existe o distribuție tip Pareto, care leagă ierarhia publicațiilor celor mai populare de la capătul de sus al scării de un grup de rang inferior folosit numai de două ori sau o singură dată, sau poate chiar niciodată. Ar urma deci că toate afirmațiile făcute pînă în prezent despre numărul de cercetători buni față de

cercetătorii slabi ar fi valabile, dacă am poseda datele necesare, mai curînd pentru o măsurare reală a calității, decît pentru măsurarea — recunoscută a avea un caracter brut — a cantității. Se știe că în nici un caz rangurile indivizilor pe cele două scări nu vor corespunde, dar se poate afirma cu oarecare siguranță că există o corelație semnificativă între soliditatea calitativă și soliditatea cantitativă. Totuși, dat fiind că, din fericire, nu ne incumbă nouă să furnizăm asemenea măsurători pentru indivizi, tot ce trebuie să știm este că mecanica statisticii forței de muncă științifice și a literaturii este supusă acestor legi generale[13].

Din existența acestor curbe de distribuție stabile și regulate rezultă, de asemenea, că putem justifica acum pe o bază teoretică, procedura noastră — pînă în prezent empirică — de a folosi numărul brut al periodicelor sau al articolelor ca un indice al dimensiunii științei. Acum știm că orice măsurare a numărului total de reviste, articole sau de persoane ne va da numărul corespunzător de reviste, articole sau persoane importante. Se va vedea că o ușoară modificare a definiției — de pildă, incertitudinea cu privire la nivelul minim admisibil pentru ca o revistă să fie considerată științifică — nu va face decît să mărească dimensiunea extremității din coadă. Acesta este motivul pentru care, chiar cele mai vagi definiții dau rezultate utilizabile și creșteri exponențiale regulate.

[13] Cu privire la aceasta, majoritatea oamenilor de știință își vor manifesta dezamăgirea. Bănuiesc că ei nutresc speranța ascunsă că se va descoperi o normă pentru judecarea obiectivă a propriului lor calibru și a propriei lor reputații. Această dorință vie de a primi o recunoaștere neîntinată de subiectivitatea umană este, în sine, un fenomen psihologic interesant.

După ce am presupus că volumul folosirii oferă o măsură rezonabilă pentru importanța științifică a unei reviste sau a muncii unui om, să aplicăm această presupunere articolului științific în general. Să examinăm folosirea unui articol, după referirile ce se fac la el în alte articole. Va trebui să ignorăm practica, evident neîngăduită, a unor autori care citează cu preferință propriile lor articole, pe acelea ale prietenilor apropiați sau pe acelea ale oamenilor de știință puternici și importanți care conferă greutate propriei lor lucrări. Vom privi în același timp cu îngăduință practica de a scrie mai întîi articolul și de a-i adăuga apoi, pentru a-l împodobi, o cotă conformă cu canoanele, de o duzină de citate — asemenea coloanelor grecești ale unei clădiri din orașul Washington — deoarece este de presupus că aceasta nu încarcă prea mult conștiința față de valoarea acelor lucrări care au servit ca bază lucrării în cauză.

Presupunem, deci, că o lucrare în domeniul cercetării este alcătuită din lucrarea proprie a unui om, dintr-un corp de cunoștințe comune, care nu necesită nici un citat specific și în medie, din alte 10 articole la care se fac trimiteri. Să considerăm acum un domeniu în care de la începutul timpurilor s-a publicat un total de N lucrări. Dacă acest domeniu se dublează la fiecare deceniu, așa cum se întîmplă cu domeniile viguroase, în anul următor el va produce o recoltă adițională de 0,07 N articole, iar acestea vor conține 0,7 N trimiteri la acumularea anterioară de N articole. Prin urmare, în medie, fiecare din cele N articole va fi citat de către noile articole de 0,7 ori într-un an. Totuși noi am presupus că incidența citării și a trimiterilor, din moment ce ele măsoară utilitatea diferitelor articole, nu poate fi distribuită în mod uniform. Unele articole

vor fi citate într-o măsură mult mai mare ca altele. Unele vor rămîne neobservate și nu vor fi citate niciodată[14].

Să privim mai întîi modul în care citatele par a descreşte în raport cu vîrsta surselor. S-a observat în repetate rînduri[15] că dacă toate referinţele, citate într-un singur număr al unei reviste sau în volumul referitor la un anumit an, sînt triate după vechimea datei lor, numărul referinţelor scade rapid cu cît ele sînt mai vechi. Fussler[16] a cercetat o serie de reviste de fizică şi de chimie din date diferite şi a arătat că deşi ele cuprindeau citate din articole cu o vechime chiar de 150 de ani, descreşterea în raport cu vechimea citatelor era evidentă. O jumătate din trimiterile din domeniul chimiei se refereau la articole cu o vechime mai mică de opt ani, iar în fizică o jumătate din trimiteri privea articole ce fuseseră publicate în cei cinci ani precedenţi. Din nefericire, datele sînt serios afectate

[14] Articolele se comportă ca populaţia umană, numai că se pare că este nevoie de un cuorum de circa 10 articole pentru a produce unul nou şi nu numai de un cuplu alcătuit dintr-un bărbat şi o femeie. Am arătat mai sus că procreaţia urmează o rată constantă.

[15] Vezi, de exemplu, F. H. Westbrook, *Identifying Significant Research* (Identificarea cercetărilor semnificative) în „Science" 132, octombrie 28, 1960, 1229—34; Idem Paul Weiss, *Knowledge, a Growth Process* (Cunoaşterea, un proces de creştere) în „Science" 131, iunie 1960, 1716; discuţia lămuritoare care a urmat între S. J. Goffard şi C. D. Windle, în „Science", 132, 2 septembrie 1960, p. 625.

[16] Herman H. Fussler, *Characteristics of the Research Literature used by Chemists and Physicists in the United States* (Caracteristicile literaturii de cercetare folosită de chimişti şi fizicieni în Statele Unite), Library Quarterly, 19 (1949), 19—35; 20 (1950), pp. 119—143.

de faptul că jumătate din eşantioanele folosite de Fussler se referă la anii de război 1919 şi 1946.

O analiză mai adîncă a perioadei de înjumătăţire a vieţii utile a articolelor se poate întemeia pe investigaţiile bibliotecarilor cu privire la ritmul utilizării volumelor legate (colecţiilor) din seriile de periodice (fig. 17). În bibliotecile mai mari, printre marile cantităţi de aseme-

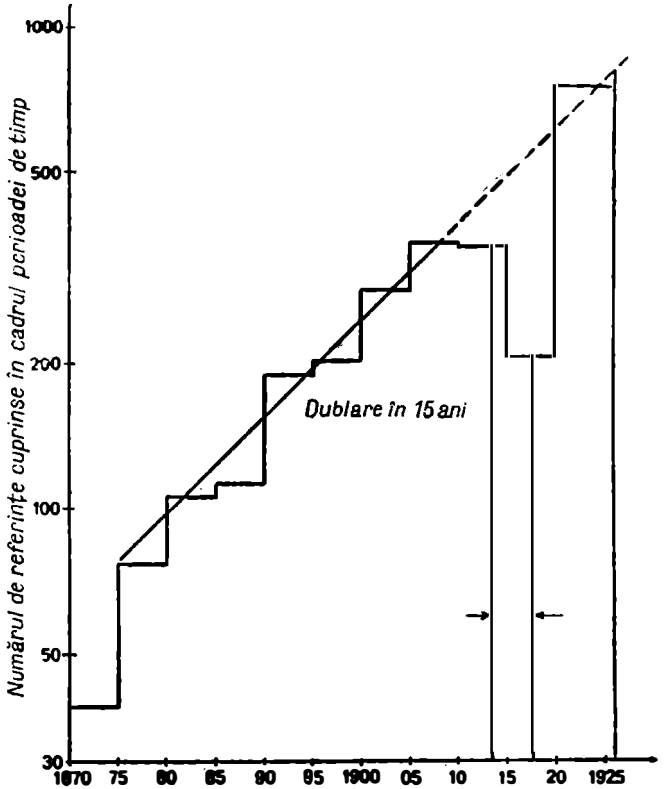

FIG. 17. PERIOADA DE ÎNJUMĂTĂŢIRE A VIEŢII LITERATURII ŞTIINŢIFICE
Cifre obţinute din distribuţia pe date a tuturor referinţelor citate în colecţia anului 1926 a unui periodic ştiinţific. De notat că, cu excepţia unei perioade de cinci ani, care cuprinde primul război mondial, numărul de trimiteri scade potrivit unui factor egal cu doi în interval de 15 ani

nea reviste, s-a constatat în repetate rînduri că folosirea lor scade cu un factor egal cu doi, în cursul unei perioade de ordinul a nouă ani. Datele culese de P. Gross şi E. Gross[17] asupra trimiterilor făcute într-un singur volum (1926) al publicaţiei *Chemical literature*, indică o înjumătăţire a numărului trimiterilor la fiecare 15 ani de creştere a vechimii.

Cu toate că această descreştere este izbitoare, trebuie să se ţină seamă că de fapt volumul literaturii în fiecare domeniu creşte exponenţial şi că, deci, se dublează la fiecare interval de 10 pînă la 15 ani. De aceea, ca o primă aproximaţie, numărul de trimiteri făcute la o anumită dată pare a fi proporţional cu totalul literaturii disponibile la acea dată. Astfel, deşi o jumătate din literatura citată va avea, în general, o vechime inferioară unui deceniu, este limpede că în linii mari orice articol o dată publicat va avea o şansă constantă de a fi folosit la toate datele următoare[18].

Acest rezultat, oarecum surprinzător, poate fi modificat prin ameliorarea aproximaţiei noastre. În acele domenii, care au tendinţa de a-şi cinsti pionierii, atribuindu-le o faimă eponimică — botezînd legi constante sau specii după numele lor — se poate constata că lucrările valoroase se îmbunătăţesc de fapt cu trecerea timpului şi că şansele lor de a fi citate sporesc. În domeniile copleşite de un torent de literatură va exista o tendinţă de a înmormînta o parte cît mai mare cu putinţă a trecutului şi de a cita articolele mai vechi

[17] P. L. K. Gross şi E. M. Gross, *College Libraries and Chemical Education* (Biblioteci de colegii şi învăţămîntul în chimie), în „Science" 66, octombrie 28, 1927, pp. 385—389.

[18] De fapt o rată constantă de citare asigură creşterea domeniului în cauză cu dobîndă compusă, astfel încît creşterea este exponenţială.

mai rar decît li s-ar cuveni după frecvența medie statistică. Această tendință este vizibilă în revista *Physical Review Letters*, care realizează cea mai mare operativitate posibilă în publicarea lucrărilor.

În acest periodic, înjumătățirea vieții referințelor a fost stabilă, de la înființarea ei, ea survenind la aproximativ 2 1/2 ani, ceea ce arată că o jumătate din totalul referințelor este mai recentă decît acest interval. Or, perioada ultimilor 2 1/2 ani din literatura de fizică conține mai puțin decît o treime din totalul lucrărilor publicate în cursul ultimului deceniu, iar acest deceniu, desigur, cuprinde jumătate din tot ce s-a tipărit vreodată. Persoanele care publică în revista amintită sînt deci în măsură, prin publicarea rapidă, să fie în contact cu mai puțin de o treime din toate articolele care în mod normal ar fi în cauză. Drept compensație, articolele din domeniul respectiv trebuie în mod necesar să fie citate de aproape trei ori mai frecvent și ca urmare, numărul de suprapuneri de citate este mult sporit.

Dar există o probabilitate sporită ca articolele care cuprind aceleași citate să se refere la aceeași temă. Astfel mărirea eficienței ratei cu care se pot formula revendicări de prioritate pare a produce automat o sporire a incidenței acestor revendicări sau cel puțin materia primă pentru aceste revendicări. Există o conexiune inversă care acționează în sensul minimizării unei părți a avantajului dobîndit prin publicarea rapidă a lucrărilor[19].

[19] De aceea ajung la concluzia că o întrecere științifică pentru a ajunge primul la capătul cursei provoacă o mare risipă și că orice lucru care micșorează răsplata pentru o astfel de reușită este binevenit. Astfel poate că este bine ca autorii să

Să examinăm acum modul în care referințele și citatele sînt distribuite, altfel decît în funcție de data lor. Dacă orice populație de articole ar fi clasificată într-o ierarhie, avînd în vîrf articolul cel mai citat al anului și la capătul de jos pe cele folosite ca referință numai o singură dată sau chiar de loc, este evident că ar rezulta o distribuție de tip Pareto similară aceleia găsite pentru utilitatea revistelor științifice. În acest caz s-ar putea afirma, dacă ar exista informația necesară, că o jumătate din totalul citatelor a fost extrasă dintr-un mic grup de articole, existente în acel moment. S-ar putea presupune, din considerente de ordin pur calitativ, că 100 de articole dintr-un număr de 10 000 furnizează aproximativ o treime din citate. Pe de altă parte, vor exista, în mod inevitabil, mai multe mii de articole care se pierd sau care sînt citate atît de rar încît nu vor ajunge să fie cunoscute pe plan general. Este imposibil de știut în ce măsură această pierdere este meritată și justă, dar un număr mare de autori neglijați vor avea sentimentul că ea este nemeritată și injustă. Există relatări care constituie un avertisment cu privire la articolele redescoperite, ca acela al lui Mendel, pentru a ne face să simțim că aceste pierderi trebuie minimizate.

Așa fiind, problemele esențiale ale forței de muncă științifice și ale literaturii au un dublu aspect. La vîrf, problema critică este predominant aceea a tehnologiei factorilor umani: aranjamente care permit interacțiunea între oamenii de cel mai înalt nivel, grupați într-un număr de persoane maniabil, ținînd seamă de

fie privați de posibilitatea de a-și vedea numele publicat. S-ar putea considera ca o cinste și o recompensă suficiente faptul că li se permite să activeze în cadrul unei echipe.

faptul că marile reviste continuă să corespundă unor grupuri naturale mari, precum şi aranjamente ca articolele importante să fie culese şi condensate în monografii şi texte normalizate. La extremitatea de jos problema este aceea a unei operaţii de tablou de comandă: cum poate să fie condus marele corp de oameni de ştiinţă şi de aspiranţi de valoare mijlocie pentru ca acest corp să ţină pasul cu fruntaşii; care este modul de a urmări revistele mai puţin importante şi articolele aproape neobservate, pentru a evita risipa? Vom vedea că există mai multe mecanisme diferite în funcţiune, fiecare dintre ele fiind actualmente într-o stare critică, în timp ce are loc tranziţia logistică de la *Ştiinţa mică* la *Ştiinţa mare*.

Primul fenomen demn de notat al tehnologiei factorilor umani este acela al apariţiei de noi grupuri de oameni de ştiinţă, grupuri compuse din maximum 100 de colegi. La început cînd într-o ţară numărul lor nu depăşea o sută, ei se puteau întruni în instituţii ca *Royal Society* sau *American Philosophical Society*. Ulterior, ei s-au putut scinda în societăţi specializate de aceeaşi dimensiune. Dar, chiar şi în ramurile cu sfera cea mai redusă există tendinţa să se depăşească acest număr de membri, iar grupurile mai mari cuprind zeci şi sute de mii de oameni. Este probabil că într-un grup de asemenea dimensiuni vor fiinţa, potrivit analizei noastre anterioare, cîteva grupuri de cîte 100 de persoane, fiecare cuprinzînd un număr de fruntaşi care acţionează reciproc unii asupra altora. Observăm că în prezent astfel de grupuri iau fiinţă, oarecum timid, ca entităţi separate.

Probabil că în timpul celui de-al doilea război mondial presiunea împrejurărilor ne-a silit să formăm ase-

menea grupuri de oameni și să-i ținem „sub cheie" într-o izolare unde să se poată interacționa. Anticipat le-a fost trezit gustul de a colabora urgent în fizica nucleară, precum și în domeniul radarului. Aceste grupuri sînt încă prezente în mijlocul nostru, prin cele cîteva sute de persoane care se întrunesc la „Conferința Rochester" pentru studiul particulelor fundamentale și prin același număr de persoane, care se întrunesc pe bază de invitații, pentru a discuta aspectele variate ale fizicii solidelor.

Forma de organizare nu este perfectă; este posibil ca unii dintre oamenii cei mai valoroși să nu participe și ca un număr redus din cei ce participă efectiv să nu corespundă calificărilor cerute, dacă s-ar aplica o judecată perfect obiectivă. Procedînd în mod conștiincios, s-ar putea încerca să nu se aplice o selecție prea riguroasă, să nu fie împiedicat accesul unui domn din Țara lui Baffin, care ar putea deveni un cercetător distins dacă i s-ar da putința. Dar există o limită o dimensiunii utile, iar dacă numărul invitaților este prea mare, prin forța lucrurilor, va lua ființă un subgrup neoficial de membri care sînt într-adevăr cunoscători.

O asemenea activitate nu se mărginește nicidecum la cele două grupuri amintite. Astfel de organisme neoficiale există în biologia moleculară, în teoria calculatoarelor, în radioastronomie și neîndoielnic în toate științele cu zeci de mii de participanți. Potrivit teoriei noastre, ele sînt inevitabile, ele nu sînt produsul războiului și nici nu reprezintă caracterul special al fiecărei discipline. Conferințele nu sînt decît un simptom; nu mai este suficientă întrunirea, în fiecare an, a unor corpuri constituite; se simte nevoia continuității în contactele grupului de o sută.

Şi astfel aceste grupuri imaginează mecanisme pentru comunicări zilnice. Există un aparat elaborat pentru comunicări zilnice. Există un aparat elaborat penci şi de texte prealabile publicaţiei şi de texte preliminare ale lucrărilor în curs de elaborare şi ale rezultatelor care sînt pe cale de realizare[20]. Existenţa unui asemenea grup poate fi diagnosticată prin verificarea listei unui autor privitoare la difuzarea textelor premergătoare publicaţiei şi apoi prin verificarea listei similare a fiecăreia din persoanele menţionate în prima listă. Cred că în acest caz se va descoperi repede un grup închis, cuprinzînd un număr mic de cîteva sute de persoane, selecţionate dintr-o populaţie mare de zeci de mii.

În afară de expedierea textelor prealabile publicaţiei membrii acestor grupuri găsesc căi şi mijloace pentru stabilirea unor contacte personale. Aceştia par a stăpîni arta de a obţine invitaţii de la centrele unde pot lucra alături de mai mulţi membri ai grupului respectiv pentru o perioadă scurtă. Îndată ce au terminat, ei se deplasează la centrul următor şi la alţi membri. Apoi se reîntorc la baza lor de pornire, dar întotdeauna fidelitatea lor se manifestă mai curînd faţă de grup decît faţă de instituţia care-i sprijină, în afară de cazul cînd se întîmplă ca aceasta din urmă să fie o haltă pe un asemenea circuit. Pentru fiecare grup există un fel de circuit de navetă în cadrul instituţiilor, adică centre de cercetări şi şcoli de vară care le oferă ocazia de a se

[20] Ca şi rapoartele asupra cercetărilor întocmite pe bază de contracte încheiate cu guvernul, acestea reprezintă mijloace indirecte nerecomandabile (deşi interesante din punct de vedere istoric) de a da publicităţii o masă de scrieri care mai bine ar fi fost pierdute.

întîlni în număr restrîns, astfel încît într-un interval de cîţiva ani fiecare om de ştiinţă cît de cît însemnat va fi lucrat cu toţi ceilalţi din aceeaşi categorie.

Asemenea grupuri alcătuiesc un colegiu invizibil, în acelaşi sens cu cel al primilor pionieri neoficiali, care mai tîrziu s-au asociat pentru a forma, în 1660, *Royal Society*. Exact în acelaşi mod, ele atribuie fiecărui om un rang, sub forma unei aprobări din partea egalilor săi, conferă prestigiu şi, mai ales, rezolvă în mod efectiv criza în comunicare prin reducerea unui grup mare la un grup mic şi select, avînd acea dimensiune maximă care este compatibilă cu întreţinerea de relaţii interpersonale. Asemenea grupuri trebuie încurajate, pentru că ele consacră rangul oamenilor fără a înmulţi numărul lucrărilor, care altfel ar fi fost scrise în acest scop.

Trebuie admis, cred, că „navetismul" ştiinţific de grad înalt a devenit un canal important de comunicaţie şi că progresul său trebuie înlesnit.

Este probabil că, dacă asemenea grupuri ar fi legitimate, recunoscute şi înzestrate cu reviste de format mare ca al ziarelor, cu o circulaţie redusă la cîteva sute de indivizi, acest fapt le-ar dăuna, le-ar transforma în obiecte de invidie sau ale unei administraţii arbitrare şi formaliste. Ziare ştiinţifice de elită sau de format mare de acest fel au existat de mult în Japonia, o ţară care trebuie să facă faţă problemei speciale ce rezultă din faptul că mulţi dintre oamenii săi de ştiinţă de vîrf îşi petrec apreciabile perioade de timp în institute străine.

Membrii elitei ştiinţifice au dobîndit prestigiu faţă de public în general şi în special faţă de patronii lor, care le-au acordat o anumită opulenţă şi le-au dat putinţa

să facă acest circuit de navetă. Incidental, aceasta înlocuieşte renumele pe care l-au pierdut ca urmare a scăderii importanţei publicării de lucrări ştiinţifice. În ciuda tendinţei de a aşeza şcolile de vară, pe cît posibil, în localităţi de vilegiatură plăcute şi de a face din cazarea oferită de institute un loc potrivit pentru a fi adusă şi familia, mai există şi o altă nevoie, şi anume aceea de a recunoaşte că deşi o localitate ca Brookhaven a fost altă dată locul unde oamenii de ştiinţă se duceau pentru a lucra cu maşini mari şi cu anumite alte aparate, astăzi ea a ajuns să joace un rol din ce în ce mai mare ca o staţie pe circuitul de navetă a mai multor colegi invizibile. Unii oameni de ştinţă vin să lucreze cu alţii, care la rîndul lor au venit şi ei să lucreze cu alţii, care din întîmplare se găsesc acolo. Se simte nevoia de mai multe asemenea înlesniri în diferite domenii şi în diferite ţări. Ar fi, de pildă, înţelept ca guvernul Statelor Unite să acorde subsidii pentru construirea de „blocuri de locuinţe Fulbright" în Londra, Cambridge şi Oxford, Copenhaga, Geneva, Paris, Delhi şi oriunde oamenii de ştiinţă circulă de obicei în număr mare.

Pînă aci ne-am ocupat de elite; ce este de făcut cu ceilalţi? Menţionarea marilor maşini ne reaminteşte imediat de modul în care formarea elitelor dă naştere unei probleme de organizare a restului populaţiei ştiinţifice. A devenit un lucru curent ca cercetarea să fie organizată, în special lucrul la maşinile mari, în jurul unei foarte mari echipe de oameni, care cuprinde cîţiva fruntaşi în diferite specialităţi şi un număr mare de tineri. În prezent, devine un obicei ca publicaţiile să fie făcute numai în numele echipei. După cum observa recent cu regret un redactor de la *Physical Review*

Letters, „fizicienii care participă nu sînt menționați nici cel puțin într-o notă de subsol"[21].

În mod destul de surprinzător, un examen minuțios al incidenței muncii în colaborare în știință ne arată că aceasta este un fenomen care crește constant și tot mai rapid de la începutul secolului (fig. 18). Este greu de descoperit o accelerare recentă a curbelor, care să corespundă apariției mașinii mari și care să indice că aceasta ar fi cauza determinantă recunoscută.

Datele extrase din *Chemical Abstracts*[22] arată că, în 1900, peste 80 la sută din toate articolele aveau un singur autor și că aproape tot restul era opera a doi autori, cel mai mare număr fiind al acelora semnate de un profesor și de studentul său după absolvire, cu toate că puține articole sînt de tipul Pierre și Marie Curie, Cockcroft și Walton, Sherlock Holmes și dr. Watson[23]. De atunci proporția articolelor cu mai mulți autori s-a mărit în mod constant și pronunțat; ea este astăzi atît de mare încît dacă creșterea continuă în ritmul actual, în jurul anului 1980 articolul cu un singur

[21] S. A. Goudsmit, în „Physical Review Letters" *8* (15 martie 1962) 229. Un alt exemplu bun al unei metode cu totul diferite de a colabora este apariția celui mai mare matematician din lume sub pseudonimul de Nicolas Bourbaki. Acest francez cu nume grecesc, autorul unei colecții celebre cunoscute în toate țările, de tratate de matematică superioară modernă este de fapt un grup de 10 pînă la 20 de matematicieni, majoritatea francezi, toți absolut eminenți în specialitățile lor și toți neidentificați după nume ca făcînd parte din policefalul Bourbaki. Vezi Paul R. Halmos, *Nicolas Bourbaki*, în „Scientific American" 196 (mai 1957), pp. 88—99.

[22] Rezultatele unei investigații nepublicate de L. Badash, Universitatea Yale.

[23] L. Kowarski, *Team Work and Individual Work in Research* (Munca în echipă și munca individuală în cercetare), CERN Courier, 2 mai 1962, pp. 4—7.

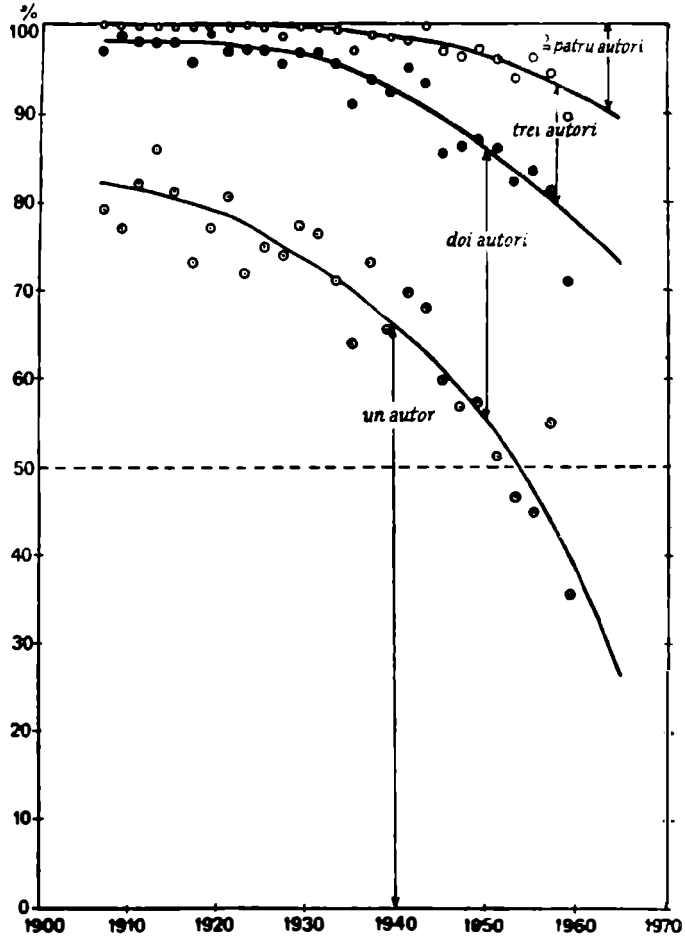

FIG. 18. CREȘTEREA NUMĂRULUI DE AUTORI AI UNUI SINGUR ARTICOL, ÎNTRE ANII 1910 ȘI 1960.

Datele extrase din *Chemical Abstracts* 1910—1960 sînt înfățișate în procente reprezentînd articolele cu un singur autor, respectiv doi, trei, patru sau mai mulți. Apare clar că de la începutul secolului a intervenit o schimbare în accelerație continuă.

autor va fi dispărut[24]. Este chiar şi mai impresionant faptul că la articolele cu trei autori se constată o acceleraţie mai mare faţă de cele cu doi autori, la cele cu patru autori una mai mare decît la cele cu trei autori şi aşa mai departe. În prezent aproape numai un articol din patru are o multiplicitate de trei sau mai mulţi autori, dar, dacă tendinţa continuă, în anul 1980 peste jumătate din articole va fi cuprinsă în această categorie şi ne vom îndrepta hotărît înspre o infinitate de autori pentru fiecare articol. Aceasta constituie una dintre tranziţiile cele mai violente, care poate fi măsurată în tendinţele recente ale forţei de muncă şi ale literaturii ştiinţifice.

Un mijloc de a înţelege această mişcare către colaborarea de masă este de a o privi ca o extindere naturală a creşterii create prin modificarea constantă a distribuţiei de tip Pareto a productivităţilor ştiinţifice. Există o mişcare continuă înspre o creştere a productivităţii autorilor celor mai prolifici şi înspre o creştere a numărului celor cu prolificitate minimă. Pe măsură ce ne apropiem de limite în ambele direcţii este clar că undeva va trebui să intervină o cedare. Oamenii cei mai prolifici îşi sporesc productivitatea prin faptul că

[24] Cf. datelor referitoare la „Mathematical Reviews" şi la trei reviste matematice din Statele Unite (procentajul de articole cu pluralitate de autori):

	Mathematical Reviews	*Trei reviste din S.U.A.*
1920		2,2
1930		4,1
1940	5,8	18,2
1950	6,5	18,2
1960	10,8	12,7

Dintr-o scrisoare a lui W. R. U t z, în „American Mathematical Notices" **9** (1962) pp. 196—197.

sînt conducători de grupuri în echipele respective, care pot realiza mai mult decît ar putea ei dacă ar lucra singuri. Grupurile cu prolificitate minimală sînt reduse ca număr, iar noi cu greu ne putem permite să le lăsăm să crească pînă cînd nu ajung la maturitatea de a produce articole de însemnătate prin propriile lor mijloace. Prin crearea unei clase de autori „fracționari" — adică de oameni de știință care produc a *n*-a parte dintr-un articol științific — un număr mult mai mare din cei ce fac parte din grupul minimal este ținut la extremitatea inferioară a distribuției. Ne putem aștepta că pe măsură ce acești indivizi se dezvoltă ei vor evolua către situația de autori de unități sau chiar mai bine, dar între timp corpul de muncitori din cîmpul cercetării crește pentru a face față cererii. Pînă la un punct este accidental faptul că organizarea din timpul războiului și apariția mașinilor mari au ocazionat apariția elaborării lucrărilor pe fracțiuni, în absența căreia ar fi existat o lipsă serioasă de forță de muncă.

Un punct de vedere mai optimist este acela de a considera că apariția acestei clase de ucenici vrăjitori rezolvă în parte problema organizării oamenilor de știință de nivel mai scăzut, astfel încît ei să aibă relații directe cu viața de cercetare a elitelor. Aceasta nu este decît o extindere logică a vechiului principiu atît de familiar, acela al marelui profesor cu anturajul său de studenți postuniversitari, așa cum au fost cazurile bine cunoscute la Rutherford sau Liebig. Marea deosebire constă, în cazul de față, în faptul că în vîrful triunghiului nu se găsește un singur individ simpatizat, ci un colegiu invizibil; și că localul în care lucrează nu este o mansardă prăfuită care adăpostește un laborator de învățămînt, ci un cerc de navetă mobil cu instituții destul de costisitoare. R. E. Weston și alții au dat su-

gestia ca aceste echipe să capete numele, de pildă, „Dubna Reds" şi „Harvard M. I. T. Yankees"[25] şi să se dea fiecărui „jucător" o anumită notă de apreciere[26].

Datorită celor arătate mai sus, una din consecinţele mari ale tranziţiei de la *Ştiinţa mică* la *Ştiinţa mare* a fost că după trei secole rolul articolului ştiinţific a suferit o transformare drastică. Sub multe aspecte, uşurinţa modernă a transportului şi starea materială prosperă a omului de ştiinţă de elită au înlocuit ceea ce altă dată se efectua prin publicarea de articole. În prezent, există tendinţa de a comunica de la persoană la persoană şi nu de la articol la articol. În domeniile cele mai active cunoştinţele se difuzează prin colaborare. Prin grupuri selecte se urmăreşte dobîndirea de prestigiu şi recunoaşterea noastră de către egalii noştri în calitate de colegi, de colaboratori apreciaţi şi respectabili. Publicăm pentru grupul mic, forţînd ritmul cît mai mult cu putinţă în cadrul unui proces de natură a forţa şi mai mult acest ritm. Numai în mod subsidiar, din cauza inerţiei datorate tradiţiei, apar publicaţiile pentru marele public.

Toate acestea vin în spirijinul schimbării considerabile a motivaţiei omului de ştiinţă; ele îi modifică atitudinea emoţională faţă de munca sa şi de colegii săi în ştiinţă. Ele au făcut ca sub multe aspecte articolul ştiinţific să devină o artă care a murit sau este muribundă. Mai mult, colegiile invizibile au încorporat în ele un mecanism automat de conexiune inversă care acţionează pentru a le spori forţa şi puterea în sînul ştiinţei

[25] „Roşii din Dubna" şi „Yancheii de la Institutul de Tehnologie din Massachussets-Harvard" *(N.T.)*.

[26] Scrisoare publicată în „Physics Today", 15 (iunie 1962). 79—80.

și în relație cu forțele sociale și politice. Mai grav, această conexiune inversă este de așa natură, încît sîntem expuși pericolului de a pierde puterea și eficiența în acele domenii și țări în care circuitul de navetă nu a apărut încă. În rezumat, după ce am elaborat o teorie suficient de completă a forței de muncă și a literaturii științifice, trebuie să privim viitorul social și politic.

(4)

Strategia politică pentru oamenii Științei mari

În analiza noastră asupra creșterii științei, am ajuns la o înțelegere fundamentală a creșterii exponențiale normale și a distribuției talentului și a productivității. Să ne îndreptăm acum atenția spre ceea ce este anormal — adică spre acele lucruri care nu urmează modelul. Fără îndoială, lucrul cel mai anormal în aceste timpuri ale *Științei mari* este banul. Aspectele financiare ale științei par a fi extrem de inegale și, întrucît ele domină majoritatea implicațiilor sociale și politice, analiza noastră trebuie să pornească de aci.

Dacă costul ridicat al științei ar fi distribuit în același mod ca și productivitatea sau perfecțiunea ei, atunci nu s-ar pune nici o problemă. Dacă costul *per capita* pentru întreținerea oamenilor de știință ar fi constant, nu s-ar cheltui decît proporțional cu numărul lor, astfel încît costul lor s-ar dubla la fiecare interval de 10 pînă la 15 ani. Dar, de fapt, cheltuielile efectuate, calculate în dolari constanți, se dublează la fiecare interval de 5 1/2 ani, astfel încît costul *pe om de știință* pare să se dubleze la fiecare interval de 10 ani. Sau, altfel formulat, costul științei a crescut în raport direct cu pătratul numărului oamenilor de știință.

Din moment ce se știe că, în general, numărul oamenilor de știință de nivel mediu crește în raport cu pătratul numărului oamenilor de știință eminenți și extrem de productivi deducem un principiu, ale cărui consecințe sînt extrem de costisitoare, potrivit căruia

cheltuielile de cercetare cresc exponențial, cu puterea a patra a numărului oamenilor de știință valoroși. S-a și evaluat că Statele Unite ar putea să posede suficiente talente, pentru a mări de cinci ori numărul oamenilor de știință distinși. Dar să adoptăm o atitudine conservatoare și să prevedem un viitor în care această populație nu va fi decît doar triplată; punct care ar putea fi atins cîndva înainte de anul 2000. În acel moment, potrivit principiului dedus, cheltuielile vor fi crescut de 81 ori, și vor reprezenta astfel mai mult decît dublul produsului național brut global al Statelor Unite.

Pare incontestabil că în realitate s-a produs o asemenea creștere a costului științei. Cheltuielile naționale de cercetare și dezvoltare erau de aproximativ trei miliarde de dolari în 1950, iar în 1960, de treisprezece miliarde dolari — ceea ce înseamnă mai mult decît o dublare la fiecare cinci ani. Creșterea anuală de 15 la sută trebuie opusă creșterii de numai 3 1/2 la sută anual a produsului național brut. În ritmul actual, știința va reprezenta 10 la sută din produsul național brut, nu mai tîrziu de anul 1973. Ea se află, chiar în momentul de față, în regiunea dintre 2 și 3 la sută, în funcție de modul în care se definește știința. Să presupunem, într-o viziune optimistă, că creșterea produsului național brut va continua, că nu va exista o penurie de forță de muncă care să împiedice creșterea numărului oamenilor de știință calificați și să revenim la chestiunea dacă și costul pe om de știință trebuie să crească. Datele disponibile de la agențiile federale, care astăzi sprijină un volum atît de mare de cercetări, ne indică lămurit că costul pe proiect crește în mod rapid. Cifrele institutelor naționale pentru sănătate ne arată o cheltuială medie pe proiect de 9 649 dolari în 1950 și de

18 584 dolari în 1960, adică o sumă aproape dublă[1]. Johnson și Milton au cercetat documentele referitoare la un volum mare de cercetări întreprinse în industrie, în universități și în instituțiile guvernamentale[2] și au constatat că în decursul unui deceniu, deși costul lor total a crescut de 4 1/2 ori, produsul cercetării și al dezvoltării n-a făcut decît să se dubleze. Se pare că, în fond, pe măsură ce se desfășoară o activitate sporită de cercetare, creșterea ei obișnuită și așteptată continuă să fie necesară, dar obținerea ei devine mai anevoioasă. Rezultatul este că se oferă din ce în ce mai mulți stimulenți prin majorarea salariilor, prin acordarea unui sprijin sporit și prin punerea la dispoziția cercetătorilor a unor instrumente de lucru mai bune. Aceasta este în esență situația ce rezultă din legea lui Fechner, pe care am descris-o, potrivit căreia efectul este proporțional cu logaritmul stimulenților. Totuși s-ar părea că este necesar ca consumul unităților de soliditate financiară să fie de două ori mai rapid decît consumul unităților de soliditate științifică.

Este cazul acum să examinăm de ce costul cercetării calculat *per capita* și raportat la produsul național brut pare să fi rămas constant de-a lungul istoriei pînă aproape de cel de-al doilea război mondial și de ce numai după aceea a apărut împrejurarea nouă a unei creșteri, care ține pasul cu creșterea forței de muncă științifice.

[1] Dale R. Lindsay și Ernest M. Allen, *Medical Research: Past Support, Future Directions* (Cercetarea medicală: sprijinul din trecut, direcții pentru viitor), în „Science" nr. 134 (22 dec. 1961), pp. 2 017—2 024.

[2] Reproduse într-un editorial în „Science" 132 (26 august 1960), p. 517.

Să ne fie îngăduit să oferim o interpretare, şi nu un răspuns, şi anume să sugerăm că conexiunea cibernetică inversă este aceea care tinde în prezent să reducă acceleraţia ştiinţei şi să o aducă la o dimensiune maximă. Aceasta este, după părerea noastră, cauza primară a apariţiei curbei logistice actuale şi nu a unei curbe exponenţiale. Aceasta este deosebirea dintre *Ştiinţa mare* şi *Ştiinţa mică*. Dar noi nu putem descoperi cauza înainte de a fi examinat mai adînc situaţia pe plan mondial, mai curînd decît pe plan naţional, precum şi motivaţia omului de ştiinţă în general.

Să examinăm în primul rînd situaţia mondială ţinînd seamă de toate ţările luate separat şi de diferitele grupări ştiinţifice din sînul lor. Într-o primă aproximaţie, acestea sînt distribuite în mod normal ca şi dimensiunile oraşelor dintr-o ţară, începînd de la cele cîteva oraşe mari şi mergînd la numeroasele oraşe mici. Se constată o creştere exponenţială uniformă a ştiinţei ca şi în cazul oraşelor. Ca şi în cazul ordinei dimensiunii oraşelor, pe care o urmărim în evoluţia sa istorică, ordinea se schimbă uşor, deşi distribuţia rămîne stabilă. De-a lungul anilor au loc schimbări în cadrul cărora în mod alternativ unele ţări iau conducerea sau rămîn în urma altora. Acesta este un proces lent, deşi realizarea lui, ca în cazul sputnik-ului, poate însemna un şoc pentru cei neinformaţi.

În cursul secolului nostru ştiinţa mondială şi-a modificat, aproape sistematic, distribuţia pe ţări. Să luăm în consideraţie o analiză din *Chemical Abstracts* a cifrelor care ne indică contribuţiile diferitelor ţări la producţia de articole ştiinţifice. La una din extremităţi avem cultura ştiinţifică veche şi stabilă a Commonwealth-ului britanic care este sensibil constantă, în timp ce aceea a Franţei a suferit un declin uşor, dar

persistent. La cealaltă extremitate, U.R.S.S., Japonia şi, în fapt, toate ţările care în trecut aveau un nivel de dezvoltare a ştiinţei mai redus, şi-au ameliorat în mod spectaculos poziţia pe plan mondial, trecînd de la o contribuţie de 10 la sută la începutul secolului nostru la aproape 50 la sută în momentul de faţă. Statele Unite au absorbit aparent o mare parte a participaţiei germane în cursul ambelor războaie mondiale, iar contribuţia germană s-a redus la o cincime din volumul său iniţial.

În ansamblu, abstracţie făcînd de cîştigurile din timpul războiului dobîndite în dauna Germaniei, Statele Unite şi-au menţinut, cu aproximaţie poziţia lor relativă. Probabil că ele au compensat şi partea pierdută de Franţa. Să nu uităm că acest fenomen este independent de creşterea exponenţială susţinută a cărei rată pe plan mondial reprezintă o dublare la fiecare 10 ani. Partea spectaculoasă nu constă în aceea că Statele Unite sau orice altă ţară pot menţine acest ritm şi o poziţie constantă, ci că U.R.S.S., Japonia şi ţările cu un nivel de dezvoltare a ştiinţei în trecut mai redus au fost incontestabil capabile să depăşească în cursul acestui secol această rată mondială şi să se înalţe de la situaţia de nonentitate la aceea de cvasimajoritate. Aceste ţări luate laolaltă par a fi erupt pe scena ştiinţifică cu o rată care depăşeşte cu aproximativ 6 la sută anual cota lor normală de explozie ştiinţifică. Ca urmare, asistăm în prezent la un declin spectaculos al capacităţii tradiţionale a marilor naţiuni de a forma ele singure o majoritate absolută ştiinţifică. Ele au de înfruntat o distribuţie de tip Pareto de ţări mai mici, a căror masă totală va depăşi curînd pe aceea a marilor naţiuni.

În Japonia, U.R.S.S. şi Statele Unite, cheltuielile pentru ştiinţă reprezintă între 2 şi 3 la sută din produ-

sul lor național brut. Cum este posibil ca producțiile lor relative să se deplaseze încet dar continuu? Explicația cea mai verosimilă pare să fie creșterea continuă a costului științei, pe măsură ce societatea devine saturată cu această activitate. Există și părerea că este mai puțin costisitor și mai ușor de a face ca știința să explodeze în „vidul" unei țări subdezvoltate, decît ar fi cazul în condiții obișnuite.

Activitatea intensă desfășurată în prezent în scopul introducerii științei și a tehnologiilor sale la micile națiuni merită efortul nostru de a privi mai îndeaproape problema conceperii și nașterii unei civilizații științifice și tehnologice moderne. Trebuie făcută o deosebire atentă între tipul de explozie științifică care ne preocupă, adică apariția unei țări și poziția ei relativă față de toate celelalte, și între schimbarea explozivă normală în care sînt implicate toate țările proporțional cu rangul lor.

Majoritatea țărilor nu fac decît să-și păstreze același loc în ierarhie, plîngîndu-se amarnic, ca și Alice din poveste, că, deși sînt silite să alerge din greu, nu fac decît să rămînă pe loc. În Anglia, constatările recente ale Comitetului Zuckerman asupra forței de muncă științifice par a confirma aceasta. Cînd o țară hotărăște că își poate permite să lase ca știința să crească doar cu rata de expansiune a economiei naționale și ca oferta și cererea de forță de muncă științifică să tindă spre egalitate, aceasta echivalează cu o retragere sinucigașă din cursa științifică. Din păcate, aceasta este cursa în care Marea Britanie, lipsită de resurse mari de minereuri sau agricole, ar trebui, mai presus de orice, să lupte cu toate forțele ei.

Dat fiind că se pare că are loc o „cristalizare" a științei care tinde să-i facă pe bogați și mai bogați, iar pe cei săraci și mai săraci, ne întrebăm cum se întîmplă că săracii devin ocazional milionari științifici? Într-un caz special, istoria ne-a oferit întreaga succesiune a treptelor cu ajutorul cărora o națiune apărută brusc pe arena științifică a fost capabilă să explodeze mai viguros decît restul lumii științifice. O analiză a datelor privitoare la Japonia poate constitui un prototip (fig. 19)[3]. În 1869, la începutul erei Meiji, Japonia a rupt cu tradiția și a solicitat introducerea științei olandeze, după numele pe care îl avea în acea vreme produsul nostru apusean.

Să urmărim acum progresul în acea țară al unei singure științe — fizica. Primul pas o fost importul de profesori de științe străini, din Statele Unite și din Marea Britanie și exportul de tineri studenți japonezi la universitățile străine, pentru dobîndirea unei instrucțiuni superioare. Valul de șoc al științei apusene a izbit violent această țară și a făcut ca populația de fizicieni a Japoniei să se ridice de la 1 la 15 în numai șase ani. Către anul 1880, valul de șoc a început să dispară treptat, la început repede pe măsură ce străinii se înapoiau în țara lor, apoi mai încet pe măsură ce studenții și profesorii instruiți în străinătate se pensionau sau decedau, astfel încît acest val a dispărut complet în 1918. Dar, în 1880, cînd curba celor „importați" atinsese punctul său maxim, un nou val era în creștere rapidă; acesta reprezenta prima generație de studenți

[3] Îmi exprim recunoștința față de Eri Yagi Shizume, de la Universitatea Yale, care mi-a permis să folosesc datele sale, ce urmează a fi publicate în „Proceedings XII, International Congress for the History of Science", Ithaca and Philadelphia, august 1962.

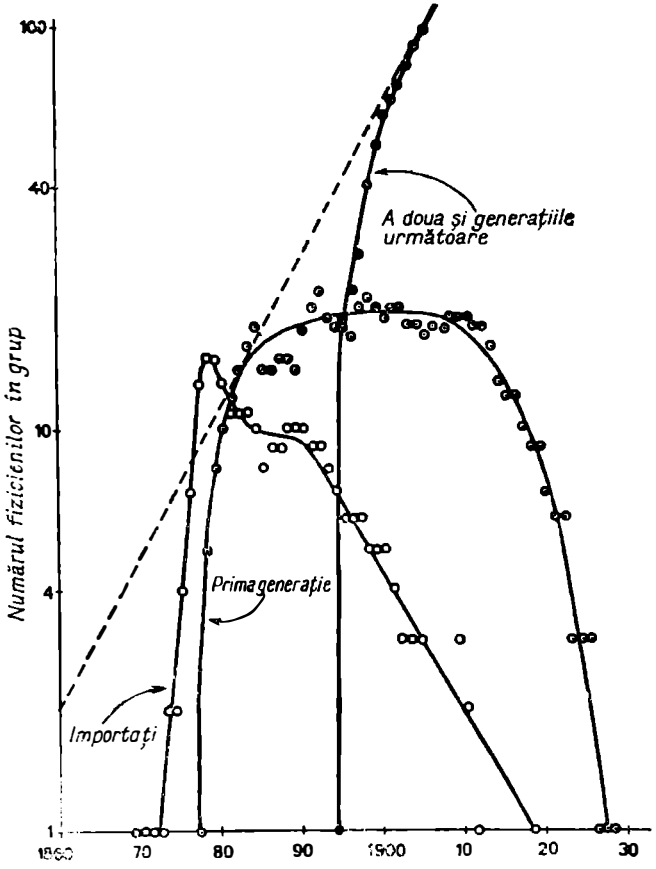

FIG. 19. NUMĂRUL FIZICIENILOR FORMAȚI ÎN JAPONIA, CA FUNCȚIE DE DATĂ

Curba „importați" cuprinde pe europeni și pe cei instruiți în Europa. Curba următoare dă numărul studenților instruiți de aceștia; a treia curbă redă numărul studenților japonezi instruiți în țară de către profesori japonezi — acest număr crește asemănător cu prima curbă și are pînă în prezent o creștere exponențială; dar creșterea a început numai după o perioadă de așteptare de circa 15 ani în care timp se pregătea prima generație de oameni de știință.

japonezi formați de străinii sus menționați și de discipolii lor.

Prima generație de studenți a constat dintr-un grup mic; el număra 10 inși în 1880, iar numărul lor n-a crescut niciodată peste 22, atingînd un echilibru stabil între formare și mortalitate. Mai tîrziu, în jurul primului război mondial, numărul lor a început să scadă vizibil, ultimii decedînd în 1928.

A doua generație de studenți, adică acei care erau acum instruiți de către japonezi în Japonia, a început în 1894 și a atins numărul de 60 de absolvenți în 1900. La scurt timp după aceea, creșterea s-a conformat modelului exponențial obișnuit, dublîndu-se la fiecare 10 ani. Această creștere a continuat fără vreo pauză sau perturbare serioasă și a condus la stadiul de dezvoltare a fizicii (din Japonia) din anii ultimului război.

Efectul global al valului de șoc și al impulsului primei generații de studenți constituie începutul creșterii exponențiale. Curba de creștere rezultată, proiectată înapoi, acționează exact ca și cum ar fi răsărit din creasta primului val de șoc; adică, ca și cum ar fi pornit de la 12 fizicieni în 1881. De notat, totuși, că creșterea nu a început imediat; a existat un decalaj de aproape 20 de ani, în cursul căruia s-a pregătit cea de a doua generație. Pare important de notat că situația stabilă n-a apărut decît o dată cu recolta de fizicieni educați integral în țară. Totuși această imagine nu este completă. S-a omis faptul important că învățămîntul primar și secundar a trebuit și el să înfrunte crize asemănătoare la aceleași date. Am neglijat punctul crucial, că cea mai mare dificultate din toate a constat în determinarea limbajului de învățămînt. Deabia la a doua generație a fost posibil ca acest învățămînt să fie pre-

dat în limba lor maternă și aceasta nu înainte de a se fi întocmit noi vocabulare și noi dicționare.

În pofida simplificărilor la care am recurs, dispunem în prezent de scala de bază a timpului, precum și de formele ecuațiilor diferențiale ale forței de muncă științifice într-o țară subdezvoltată și nu avem motive să ne îndoim că acest caz este tipic. Decalajul de timp în așteptarea unei generații și apoi demarajul într-un ritm care este mai rapid decît creșterea exponențială subsecventă, sînt extrem de importante. Ele constituie încă un exemplu al merelor coapte care cad cu ușurință din pom. În cazul de față, merele nu mai sînt descoperirile, ci fizicienii potențial străluciți într-o țară în care știința fizicii era absentă. Acest aspect este extrema opusă a țării științific foarte dezvoltate.

Explozia științei într-o țară subdezvoltată poate, deci, dacă se depun eforturi serioase, să fie mult mai rapidă decît într-o țară în care știința este deja instalată. În cazul maselor mai mari de populație ale lumii, procesul este în parte cunoscut și, în parte, o cauză de grave îngrijorări.

Explozia într-un vid este motivul principal pentru care Statele Unite, care și-au început revoluția științifică mult mai tîrziu decît Europa, au fost capabile s-o ajungă mult mai repede și apoi s-o depășească. Exact în același mod, U.R.S.S. care a pornit mult mai tîrziu decît Statele Unite, a fost în măsură să se dezvolte cu o rată exponențială mai mare realizînd o dublare în 7 ani, poate, în loc de 10 ani. În mod asemănător, este cazul Chinei, care a apărut de curînd pe firmamentul științific — după cum rezultă și din faptul că în prezent traducerea principalelor reviste chineze este o

practică de rutină (după cum le-am tradus și pe cele de limbă rusă cu mulți ani în urmă) — să ajungă la paritate într-un deceniu sau două. Populația științifică a Chinei se dublează la aproximativ fiecare trei ani.

Așa fiind, ne găsim în ce privește marile blocuri ale populației lumii într-un fel de cursă cu un handicap automat. Cu cît o țară inițiază mai tîrziu eforturile sale hotărîte de a face știință modernă, cu atît va putea crește mai repede. Este deci de presupus că în cursul viitoarelor cîteva decenii, vom asista la un final strîns al unei curse în care se aleargă de cîteva secole. Țările cu tradiție științifică mai veche vor ajunge, în mod necesar, la etapa lor matură de saturație, iar masele noi de populație științifică din alte părți ale lumii vor ajunge la linia de sosire aproape simultan cu primele țări.

Susțin, că acest proces este istoricește inevitabil și că, deci, trebuie să păstrăm un simț al echilibrului și să nu intrăm în panică în cursul viitoarelor valuri de progrese științifice, de genul sputnik-ului, în țări care erau privite înainte ca inferioare în materie de știință și tehnologie înalte.

Să luăm acum în considerare curba de distribuție într-o țară a incidenței talentului științific. Deși nu posedăm o măsură obiectivă a talentului în stare latentă dintr-o țară subdezvoltată, este rațional să presupunem că el va fi distribuit în spațiu în același mod ca și în țările dezvoltate, cu relativ puține talente excepționale și cu un număr de talente mai mici, care se înmulțesc din ce în ce mai mult, pe măsură ce ne apropiem de calificarea minimă. După cum s-a văzut, efectul general al creșterii totalului populației științifice este acela al

înmulțirii mai rapide a talentelor minore decît a celor mari care domină scena și care produc o jumătate din întregul progres științific.

Cît timp o țară este relativ subdezvoltată, numărul de oameni de știință va fi prea mic pentru a necesita o cristalizare importantă în grupe și în elite, căci întregul corp va fi alcătuit din crema care s-a ridicat la suprafață. Pe măsură însă ce țara se dezvoltă, începe atît cristalizarea în grupe, în orașe științifice, cît și randamentul relativ descrescînd în oameni de știință de primă calitate. Efectiv, extremitatea cozii curbei de distribuție este din ce în ce mai solicitată astfel încît există tendința de a se folosi un segment al cozii din ce în ce mai lung, pentru a transforma în oameni de știință pe aceia care sînt cei mai apropiați de aptitudinile medii.

Trebuie subliniat că noi nu afirmăm că ar surveni o reducere a normelor minime cerute pentru a fi om de știință. Ceea ce afirmăm este numai că efortul pentru dobîndirea unui număr mai mare de oameni de știință mărește numărul celor de la nivelurile inferioare cu o rată de creștere superioară acelora de la nivelurile mai înalte. Astfel, deși numărul oamenilor de cea mai înaltă calitate poate fi întotdeauna mărit, aceasta se face în dauna normei mijlocii. Din natura acestui proces rezultă că la un stadiu oarecare între subdezvoltare și înalta dezvoltare culegerea cremei încetează; societatea începe să fie obligată a acționa împotriva distribuției naturale a talentelor. În mod aparent, este inevitabil ca stimulenții și posibilitățile sporite oferite să aibă drept rezultat o recoltă mai redusă și mai puțin valoroasă, dar și o creștere suficient de mare a oamenilor de vîrf, care justifică menținerea acestui proces vreme îndelungată.

Teza noastră este că declinul logistic, după secole de creştere exponenţială, are loc fiindcă noi folosim în acest mod ultimele rezerve din fundul sacului. La un anumit moment s-ar putea să nu mai aibă sens să se facă atîtea sacrificii pentru a mări stimulenţii şi posibilităţile oferite oamenilor de ştiinţă, cînd singurul rezultat ar fi un declin al nivelului general. Aceasta este o teză greu de susţinut, fiindcă s-ar putea spune, pe bună dreptate, că atît timp cît se pot produce oameni de primă calitate şi atît timp cît aceia care sînt în fiinţă pot fi puşi în situaţia de a continua lucrările de primă calitate, merită întotdeauna să se cheltuiască efort şi bani. Această părere ignoră, cred, mecanica generală a oricărei apropieri de stagnarea logistică. Forţele de creştere, lipsite de prada lor obişnuită, încep să fie folosite în alte părţi, de unde rezultă o mulţime de noi neajunsuri. În materie de forţă de muncă ştiinţifică, faptul că începem să folosim ultimele resturi din fundul sacului se manifestă pe diferite căi. Poate că aspectul cel mai vizibil este acela al răsturnării echilibrului tradiţional şi natural dintre diferitele domenii şi ţări. Tradiţia depindea de ierarhia naturală a creşterilor în diferitele domenii; în schimb, poziţia nouă depinde în mare măsură de ierarhia forţelor asociate cu decelerările logistice.

În domeniile de activitate ştiinţifică unde în trecut se făcea o triere naturală a oamenilor pe diferite subiecte după predilecţiile lor sau după capriciul împrejurărilor şi al inspiraţiei, societatea oferă acum stimulenţi şi înlesniri variate, menite să atragă oamenii în unele domenii specifice. Astfel, legea cererii şi a ofertei începe să se supună acestor forţe diferite, iar distribuţia se

schimbă cu aceeași eficacitate ca și cum ar fi existat numai o ofertă constantă și o cerere în creștere rapidă. În realitate, situația existentă este echivalentă cu o ofertă restrînsă a forței de muncă extrem de talentate, ceea ce provoacă o concurență sporită pentru a asigura o mare concentrare de asemenea talente în ciuda descreșterii densității acestora.

Astfel, în această situație competitivă, domeniile în care stimulenții sînt mari realizează, prin deviație față de tradiție, cîștiguri în dauna celor cu stimulenți reduși. În prezent, în Statele Unite și în Anglia este ușor de constatat o astfel de competiție între subiectele fascinante care atrag oamenii și cele necaptivante, care nu-i atrag. Există o vădită diminuare a ratelor de creștere așteptate în domeniul studiilor universitare de medicină, inginerie și de învățămînt, care poate fi atribuită menținerii creșterilor în fizică, matematică și astronomie.

În mod asemănător, pe scena internațională, pare să existe o tendință ca oamenii de știință să părăsească acele țări în care pentru a produce forța de muncă științifică nu este necesar decît un minimum de stimulenți și de posibilități și de a se deplasa în țări în care li se oferă condiții mai atrăgătoare pentru desfășurarea muncii științifice, așa cum este cazul mai ales în Statele Unite. Poate că însăși internaționalitatea științei înlesnește într-o măsură mai mare aceste deplasări pentru oamenii de știință, decît pentru alte categorii de cadre. Astfel, țările din Commonwealth-ul britanic și din Europa occidentală se plîng amarnic de pierderile lor în forțe științifice prin emigrație; iar Statele Unite suferă de inconvenientele care sînt urmarea unui flux din regiuni de penurie înspre regiuni îmbelșugate și a cristalizării disponibilităților mondiale din soluția mumă a forței de

muncă științifice, ceea ce face ca această forță de muncă să se aglomereze în centre, unde ea este deja excedentară[5].

Exact același proces, ca între țări, are loc și între diferitele discipline. Să analizăm în continuare situația în termenii structurii pe care am constatat-o deja, adică formarea de mici colegii invizibile de circa o sută de oameni proeminenți în fiecare domeniu major.

În măsura în care un asemenea grup se transformă într-un corp integrat, mărindu-și eficiența și capacitatea de a coordona activitățile și proiectele unui mare număr de oameni, și puterea grupului pare să crească într-un ritm chiar mai rapid decît dimensiunile lui. Desigur, după cum s-a văzut, cheltuielile grupului vor crește cu pătratul mărimii sale. Astfel, ne găsim în prezența unui fenomen de reacție inversă pozitivă; cu cît un asemenea grup devine mai puternic, cu atît el poate dobîndi mai multă putere. Se pare că se mai dă celui ce are, iar aceasta în mod automat atrage privațiunea aceluia care nu are.

În fond, motivația care îi face pe oamenii de știință turci, canadieni și brazilieni etc. să emigreze în Statele Unite este aceeași care determină pe eventualii studenți în medicină să încerce obținerea unui doctorat în fizică. Țările de *Știință mare,* precum și subiectele *Științei mari* trebuie să ofere stimulenți adiționali, pentru a-și menține creșterea normală, iar prin aceasta ele au tendința de a produce reacții în *Știința mică* și în țările mici.

Aceasta este limita pînă la care ne poate duce analiza matematică actuală a stării științei, dar ea abia începe

[5] Pentru o analiză magistrală și sinceră a acestei probleme vezi Stevan Dedjer, *Why did Daedalus leave?* (De ce a plecat Dedal), în „Science" 133 (30 iunie, 1961), 2 047—2 052.

să pună problemele cele mai semnificative ale epocii *Științei mari.*

Apoi trebuie să cercetăm sociologia și psihologia, pentru a găsi explicația forței speciale de stimulare și a posibilităților favorabile din sînul marilor procese ale științei. După ce s-a consemnat că motivația oamenilor de știință și rolul publicațiilor științifice par a fi schimbate prin apariția colegiilor invizibile, acest fenomen trebuie examinat mai îndeaproape.

Dacă este vorba să existe un număr mai mare de oameni de știință decît aceia care cad din pom ca merele coapte, care să fie dispuși să urmărească în orice împrejurări scopul căruia s-au consacrat, este nevoie de stimulenți. În cursul ultimelor cîtorva decenii, în Statele Unite și în U.R.S.S. și într-o măsură relativ mai mică în alte țări, poziția socială a omului de știință s-a înălțat în mod simțitor[6]. De vreme ce el a fost necesar, din moment ce a apărut o oarecare concurență a intervenit și o sporire automată a salariilor generale, precum și a fondurilor de cercetare și a mijloacelor de lucru, impuse de prestigiul și de cultul magic (cargo cult)[7] pentru știința modernă. Nu discutăm acum dacă randa-

[6] Înălțarea poziției sociale este analizată în Bentley Glass, *The Academic Scientist 1940—1960* (Omul de știință academic), în „Science" 132 (12 septembrie 1960), pp. 598—603.

[7] Termenul de „cargo cult" este folosit de antropologi pentru a descrie reacțiile popoarelor primitive față de încărcăturile navelor cu produse provenind din țările civilizate. În insulele Pacificului, în ultimul război, cînd a sosit marina americană, colibele indigenilor au fost acoperite cu imitații din bambus ale antenelor de radar, așezate pentru ca zeii cei noi să le surîdă și să le aducă bogății. [Povestite de A. Hunter Dupree, *Public Education for Science and Technology* (Instrucția publică pentru știință și tehnologie), în „Science" 134 (15 septembrie 1961), p. 717.]

mentele obținute justifică sau nu cheltuiala economică, socială sau politică. Este suficient să notăm că fiecare creștere de prestigiu dă neîndoielnic naștere unei rambursări în rezultate sporite, dar, în același timp, și unei competiții mărite, care ridică „miza" cerută pentru runda următoare.

O dată angajați pe calea de a plăti oamenii de știință după valoarea lor sau în funcție de cererea pentru serviciile lor, în loc de a le acorda doar posibilitatea de a supraviețui, astfel cum este cazul cu alte grupuri dedicate[8], se pare că nu mai există o cale de întoarcere. Mi se pare evident că oamenii de știință, care primesc recompensa justă și cuvenită a unei atari recunoașteri, nu mai sînt același gen de oameni de știință ca aceia care au trăit sub vechiul regim, cînd societatea de abia le îngăduia să existe.

Problema nu ar fi atît de îngrijorătoare, dacă singurul mijloc de a deveni om de știință ar fi acela de a fi înzestrat cu talentele adecvate, adică dacă oamenii ar deveni, de pildă, radioastronomi, nu datorită unor împrejurări capricioase sau pentru că s-au rătăcit și au ajuns din întîmplare în acest domeniu, ci pentru motivul că aceasta este ceea ce ei puteau face cel mai bine. Din studiile moderne despre aptitudinile creatoare în domeniile științifice, reiese că tipurile generale și specifice de inteligență au surprinzător de puțin de a face cu incidența înaltelor realizări. În cazul cel mai bun se cere un anumit minim, destul de ridicat, dar, o dată ce acesta a fost depășit, șansa de a deveni un om de știință de înalte realizări pare a fi aproape întîmplătoare. O calitate importantă constă dintr-un anumit dar, pe care

[8] Anumitor îndeletniciri prin vocație *(N.T.)*.

îl vom numi „nonconformism"[9] acea însușire de a face asociații neobișnuite de idei, de a face ceea ce este neașteptat. Omul de știință tinde să devină omul care, fiind supus testului asocierii de cuvinte, răspunde la „negru" nu prin „alb", ci prin „icre negre". O astfel de caracteristică schizoidă se observă în humorul științific de un esoterism ciudat al lui Lewis Carroll, precum și în mii de afișe și însemnări din avizierele buletinelor de laborator. De notat, în treacăt, că reacția față de acest nonconformism este aceea care dă naștere obiectivității și conservatorismului, care sînt și ele caracteristice omului de știință valoros, rezistenței pe care acesta o opune descoperirilor și asociațiilor nesăbuite făcute de el sau de alții, precum și sentimentului că ceilalți trebuie să fie în eroare[10].

El este prins într-o interacțiune violentă de creație liberă pasionată, pe de o parte și de prudență obiectivă înnăscută, pe de alta. După MacKinnon[11], omul de știință de înaltă creativitate poate fi definit cu aproximație ca acel individ rar, care poate supraviețui tensiunii acute dintre teoretic și estetic, un echilibrist între adevăr și frumos. Poate că aceasta reclamă o trăsătură schizo-

[9] În original „mavericity", termen creat de autor din cuvîntul „maverick" care la propriu indică mînjii nestruniți încă, iar la figurat oamenii care acționează independent sau care au reacții neconforme cu așteptările *(N.T.)*.

[10] Bernard Barber, *Resistance by Scientists to Scientific Discovery* (Rezistența din partea oamenilor de știință la descoperirea științifică), în „Science", 134 (1 septembrie 1961), pp. 596—602.

[11] Donald W. MacKinnon, *What Makes a Person Creative?* (Ce face ca o persoană să devină creatoare?), în „Saturday Review", XLV (10 februarie 1962), pp. 15—17, 69; *The Nature and Nurture of Creative Talent* (Natura și „hrana" talentului creator), în: „Bingham Lecture", Yale University, 11 aprilie, 1962.

frenică ciudat de stabilă, o trăsătură care devine stabilă cînd cel în cauză devine un om de știință.

Știința mare tinde să restrîngă unele manifestări de „nonconformism". Apariția muncii în colective și a colegiilor invizibile, faptul însuși că există mijloace excelente de lucru, toate acestea acționează în direcția unor obiective specificate de cercetare. Ele par să exercite presiuni pentru a menține progresul științific îndreptat înspre acele țeluri, pentru care grupul sau proiectul a fost creat. Aceasta constituie un vechi argument împotriva planificării cercetării și pledează pentru a lăsa pe fiecare om să lucreze după judecata sa și să-și urmeze calea, oriunde ar duce aceasta. Dar nu există nici un mijloc care să ne asigure că omul va fi îndemnat să urmeze această cale, atunci cînd prestigiul și poziția sa științifică depind de recunoașterea din partea grupului.

Atunci cînd prestigiul și poziția proprie ale unui individ sînt suficiente, sau cînd dintr-un alt motiv oarecare întregul grup poate fi convins să-l urmeze, acesta realizează progrese revoluționare, ceea ce constituie un tip de fenomen cunoscut în prezent care atrage după sine un plus de înalt prestigiu. Ca atare, deși există o oarecare încurajare din partea grupului pentru etalare de „nonconformism", este posibil ca această încurajare să se manifeste numai în cazuri speciale și ca în momentul de față acest „nonconformism" să fie irosit în alte direcții. Poate că se simte nevoia unui efort activ care să aducă după sine un sprijin suficient pentru cercetarea fără obiectiv, punerea la dispoziție de fonduri fără proiect, acordarea unor mijloace de studiu și unei poziții fără obligația de a subscrie la realizarea unui obiectiv specificat, adică genul de posibilități care în prezent sînt parțial oferite prin institutele pentru studii înain-

tate și prin intermediul catedrelor de cercetare de înaltă ținută.

Revenind acum la problema de a ști dacă răsplata din partea *Științei mari* produce oameni de știință deosebiți de aceia ai *Științei mici*, să examinăm caracteristicile observate de toți aceia care au căutat să descopere regularități printre grupurile de oameni de știință eminenți. Galton, unul dintre primii care au întreprins asemenea investigații, a observat că peste o jumătate din grupul de oameni de știință era alcătuită din cel mai mare sau din unicul fiu al familiilor respective și că această proporție, cu mult superioară mediei, a fost confirmată ulterior cu prilejul mai multor cercetări. Galton a notat, de asemenea, că o proporție neobișnuit de mare a persoanelor cercetate era foarte atașată de unul din părinți, cel mai adesea de mamă. Pe aceeași linie, s-a remarcat de atunci încoace că mulți dintre oamenii mari de știință pierduseră pe unul din părinți în fragеda lor copilărie (înainte de a împlini 10 ani) și că s-au atașat puternic de celălalt[12]. Cazurile istorice cunoscute arată că adeseori oamenii de știință sînt copii singuratici, care găsesc că este mai ușor să se apropie de obiecte decît de oameni. Pe scurt, multe trăsături stranii ale personalității par să caracterizeze pe acei care devin oameni de știință[13].

[12] Newton, Kelvin, Lavoisier, Boyle, Contele Rumford, Mme Curie și Maxwell se numără printre aceste exemple.

[13] S-au publicat foarte puține lucrări temeinice despre psihologia oamenilor de știință. Singurele cărți care îmi sînt cunoscute sînt cele de A n n e R o e, *The Making of a Scientist* (Formarea unui om de știință), New York, Apollo Editions, Inc. Reimprimată A—23) și de B e r n i c e T. E i d u s o n, *Scientists: Their Psychological World* (Lumea psihologică a oamenilor de știință), N. Y. Basic Books, Inc. 1962.

Cred că toate aceste caracteristici se aplică oamenilor care au devenit eminenți în epoca *Științei mici* și că, pînă în prezent, nu avem nici cea mai vagă idee despre vreuna din caracteristicile noi, ce s-au ivit ca urmare a schimbărilor survenite prin trecerea la condițiile noi ale *Științei mari.* Multe din trăsăturile personalității, constatate anterior, par a fi compatibile cu ipoteza că mulți oameni de știință s-au îndreptat înspre profesiunea lor, pentru a dobîndi o satisfacție emoțională de care, altfel, ar fi fost lipsiți. Dacă aceasta este adevărat, chiar numai ca o explicație parțială, se poate vedea cît de cataclismic trebuie să fie efectul schimbării recompenselor emoționale oferite de viața științifică. Dacă oamenii de știință ar fi, în ansamblul lor, oameni relativ normali poate cu ceva mai inteligenți sau chiar mai inteligenți în anumite direcții speciale, problema nu ar fi atît de dificilă. Dar, devreme ce se pare că oamenii de știință sînt deosebit de sensibili la modurile răsplătirii lor prin înseși trăsăturile personalității lor care i-a determinat să devină oameni de știință, trebuie să privim cu mare atenție la tot ce poate interveni și modifica aceste sisteme de recompensă. Orice asemenea schimbare îi va transforma pe oamenii *Științei mari* în oameni de temperament și de personalitate, diferite de acelea pe care ne-am obișnuit a le considera tradiționale la oamenii *Științei mici.*

Faza nouă a științei pare să fi schimbat sistemul de recompensă în două moduri diferite. Într-o direcție, s-a introdus răsplata constînd dintr-un rang social și din avantaje financiare, recompense destul de rare în trecut. În direcția cealaltă, l-am determinat pe omul de știință să caute aprobarea egalilor săi într-un fel diferit. Omul ecuațiilor lui Maxwell nu este chiar același cu omul vaccinului lui Salk. Deși, potrivit mitologiei, un om de

știință este presupus a acționa veșnic numai din curiozitate înnăscută cu privire la modul în care funcționează lucrurile și la ceea ce pot ele face, în prezent există un mecanism social ceva mai diferit, prin care omul poate realiza că inspirația sa și „nonconformismul" său personal au fost recunoscute de ceilalți oameni, au triumfat atît împotriva conservatorismului și a spiritului de precauție ambiante, cît și împotriva caracterului tainic al naturii.

Dacă acestea sînt adevărate la nivelul cel mai înalt, este tot atît de limpede că, în regiunile mai puțin stratificate, colegiile invizibile și toate grupele mai mici conferă un rang și mijloacele unui trai bun. Ele exercită putere și cu cît cineva are mai multă putere într-un asemenea grup, cu atît el poate selecționa mai bine pe cei mai buni studenți, poate obține fondurile cele mai mari și poate determina aducerea la îndeplinire a proiectelor celor mai măreț. O asemenea putere nu reprezintă desigur o lăcomie egoistă din partea omului de știință. Societatea suportă această structură și o plătește cu sume din ce în ce mai mari, dat fiind că rezultatele muncii omului de știință sînt vitale pentru puterea, securitatea și bunăstarea tuturor. Față de tot ceea ce se afirmă că depinde de el, de la apărarea împotriva unui atac militar pînă la apărarea împotriva bolilor, omul de știință este acela care ține acum „baierele pungii" întregului stat.

Pînă nu de mult, omul de știință, în măsura în care juca vreun rol folositor în afacerile de stat, era un instrument pasiv, bun de consultat ca un dicționar pentru a da răspunsul just la cerere. O serie de oameni de știință, ca și unii dintre aceia care nu sînt oameni de

știință vor socoti că este de dorit de a se respecta, cu toate greutățile, afirmația că omul de știință ar trebui să fie „la robinet dar nu la vîrf"[14]. Fără a discuta aspectul etic al acestui punct de vedere, putem remarca că reacția inversă pozitivă care guvernează puterea oamenilor de știință acționează împotriva unei asemenea afirmații. Prestigiul sporit al oamenilor de știință și al muncii științifice face ca atît ei cît și munca lor să devină din ce în ce mai vitale pentru stat și face ca statul să încredințeze, într-o măsură din ce în ce mai mare, deciziile tehnice unor competențe tehnice.

În orice caz, eu nu pledez atît pentru asumarea de către oamenii de știință a controlului asupra unor probleme care intră în competența lor tehnică, cît mai curînd pentru faptul că trebuie încurajată noua lor tendință de a fi prezenți pe frontul politic ca reprezentanți ai unui grup de oameni, care dețin cheile civilizației noastre.

Într-o economie saturată de știință este vădit că desfășurarea adecvată a resurselor devine mult mai importantă decît încercările costisitoare de a le spori.

În Marea Britanie și în Statele Unite foarte puțini senatori, congresmeni, membri ai parlamentului și politicieni activi — de fapt mai puțini de 2 la sută — au o formație științifică sau tehnologică. Printre deputații Sovietului Suprem al U.R.S.S., cifra acestora depășește astăzi 25 la sută[15] și, deși mecanismul sovietic de guver-

[14] Joc de cuvinte: în limba engleză „tap" înseamnă robinet, iar „top" vîrf, în sensul că omul de știință trebuie să fie la dispoziția guvernanților dar nu să guverneze *(N.T.)*.

[15] Conform investigațiilor Serviciului Științei cuprinse într-un articol în „Science", nr. 132 (30 septembrie 1960), p. 885.

nare este foarte diferit de al nostru, consider aceasta ca o indicație a modului în care s-ar putea înfățișa propriul nostru viitor.

În epoca trecută a *Științei mici* exista o reacție înverșunată împotriva activității politice desfășurate de oamenii de știință. Ei erau lupi singuratici, ei apreciau independența lor; în ansamblu lor le plăceau *lucrurile*, dar nu aveau destulă pricepere în privința *oamenilor*. Răsplata lor era aprobarea egalilor lor și se presupunea că ei nu rîvneau în nici un chip la admirația omului de pe stradă sau la vreo poziție socială în cadrul societății. În prezent, fie că le place sau nu, ei au o asemenea poziție în societate și un grad sporit de opulență. Ei s-au integrat experienței comune a oamenilor. Cînd am văzut pentru prima dată că trăsăturile distinctive ale „supraomului" — care în secvențele de desene caricaturale în trecut îl făceau să semene atît de mult cu un jucător american fruntaș de fotbal — se metamorfozează sub ochii mei într-un fizician nuclear american reprezentativ, am simțit că vechiul joc s-a terminat și că Președintele Statelor Unite care va fi ales după cel următor s-ar putea foarte bine să fie un fost om de știință.

Aceasta este partea pozitivă a bilanțului care compensează unele din celelalte schimbări, nu atît de favorabile, care au și fost observate în prima generație a *Științei mari* de stil nou. Omul de știință este acceptat de societate și trebuie să-și asume răspunderea față de ea într-un mod nou. Expansiunea liberă, oarecum egoistă, prin creșterea exponențială a proprietății private asupra descoperirilor științifice trebuie moderată atunci cînd ne aflăm în stadiul logistic. S-ar putea ca goana

din răsputeri pentru a sosi la „potou" înaintea celui mai apropiat concurent să fie, pe termen lung, o acțiune nepermis de irresponsabilă.

Trebuie afirmat, desigur, ca o chestiune de principiu, că țara care a atins o maturitate logistică deplină și este saturată de știință, trebuie să încerce să se comporte cu maturitate și înțelepciune; ea ar avea îndatorirea să sprijine țările mai tinere, care cresc împrejurul ei și care treptat o vor depăși în superioritate științifică.

Unul din lucrurile care cred că se întîmplă este maturizarea unei anumite atitudini responsabile printre fizicieni, analogă aceleia care, în timpuri aproape preistorice, a determinat pe medici să adopte conceptul jurămîntului lui Hipocrat. Contrariu credinței generale, aceasta s-a întîmplat nu fiindcă doctorii erau persoane deosebit de devotate sau care ar fi purtat grija binelui public, ci pentru că ei erau cu foarte mare ușurință considerați răspunzători personal de către clienții lor pentru otrăviri, greșeli profesionale și altele. Omul de știință a avut de parcurs o cale mult mai anevoioasă pentru a ajunge la aceasta, pentru motivul că clientul său era de obicei statul și nu individul. Vina sa apărea în ochii lumii și nu în ochii unui individ. Aci mă refer nu numai la probleme ca experiențele nucleare și radiațiile atomice, ci și la o problemă generală, cum este aceea a serviciului pe care știința îl aduce binelui comun și perfecționării înțelegerii superioare din partea omului. Colegiile invizibile și grupele au acum puterea să elimine din sînul lor pe „otrăvitorii și provocatorii de avorturi" și să le ia de pe umeri vechea mantie proteguitoare a dezinteresării, care era proprie zilelor *Științei mici.*

Este un fapt încurajator de a descoperi că, în ansamblu, în ciuda diverselor exemple care au căpătat o largă publicitate, întregul corp al oamenilor de știință a fost remarcabil de unanim în privința aprecierilor politice din ultimii ani și a manifestat consecvență cu privire la acțiunile sale publice, în era *Științei mari*. Analiza recentă a lui Robert Gilpin[16] a acestei consecvențe constituie un document cît se poate de încurajator. Oamenii de știință deabia au început să-și dea seama că dețin în mîinile lor o mare putere, pe care au folosit-o în foarte mică măsură. Rîndurile oamenilor de știință de grad superior și ale administratorilor științei, care dețin poziții-cheie au crescut în așa măsură încît nu cred că va trece mult timp înainte ca unii din cei buni să înceapă, cu mai multă vigoare, să desfășoare activități politice. Avem nevoie de asemenea oameni pe scena națională și pe arena internațională. Avem nevoie de ei pentru reconstrucția internă a întregii structuri sociale a științei și pentru problemele externe ale științei puse în slujba omului.

Nutresc speranța că în aceste conferințe, trecînd dincolo de amorul propriu și de prejudecățile mele în interpretarea datelor, am reușit să arăt că un întreg șir de neajunsuri și greutăți, legate de forța de muncă științifică și de literatura acesteia, fac parte dintr-un singur proces în care descoperim, în sfîrșit, o schimbare în starea științei, fără precedent timp de 300 de ani. Stadiul nou de maturitate științifică, care va izbucni în mijlocul nostru în următorii cîțiva ani, va forma sau

[16] Robert Gilpin, *American Scientists and Nuclear Weapons Policy* (Oamenii de știință americani și politica armelor nucleare), Princeton, Princeton University Press, 1962.

sfărîma societatea noastră, ne va maturiza sau ne va distruge. Între timp, trebuie să ne străduim pentru a fi pregătiți în vederea unei înțelegeri generale a creșterii științei și trebuie să ne așteptăm la o asumare pe scară mai mare a răspunderii de către oamenii de știință, care știu cum să pună ordine în propria lor casă, mai bine ca oricare alți oameni din oricare altă epocă.

(5)

Măsura dimensiunii științei

În era atomică și spațială, știința devine cu rapiditate mult prea importantă pentru a fi lăsată pe seama oamenilor de știință. Aceasta se datorește parțial faptului că oamenii de știință au dovedit, de-a lungul veacurilor, o ingeniozitate de necrezut în promovarea propriilor lor interese. Începînd cu perioada lui Arhimede ei au fost în măsură să demonstreze în mod concludent, oricărui guvern, că acordarea unui sprijin maxim lucrărilor științifice este esențială pentru securitatea militară și economică a statului. Din nefericire, astăzi, necesitățile oamenilor de știință au început să depășească posibilitățile de sprijinire, criza fiind resimțită în primul rînd în țările cele mai mari și mai dezvoltate. De aceea, începe să se pună problema „țărilor supradezvoltate", în care cineva trebuie, într-un fel sau în altul, să învețe să refuze cel puțin unele din cererile chiar rezonabile ale comunității științifice.

Un alt motiv pentru care controlul științei este în curs de a scăpa din mîinile oamenilor de știință îl constituie faptul că a început să se acumuleze o masă considerabilă de înțelepciune convențională și tehnică, cu privire la organizarea științei și la mecanismele de funcționare ale acesteia în viața industrială, economică și de învățămînt a unei națiuni. Sînt de domeniul trecutului timpurile în care un om de știință, cu o pregătire superioară și cu experiență, sau un cadru de conducere din administrația publică putea să-și însușească suficient de repede volumul redus de lucrări și experiență an-

terioară. În prezent, materialul esențial, reflectînd o erudiție vastă, apare în ritmul de mai multe cărți anual, iar cu cîțiva ani în urmă s-a publicat o bibliografie a bibliografiilor „Studiilor de politică științifică" cuprinzînd cîteva zeci de bibliografii lunare și anuale ce se referă la lucrările publicate în reviste și teze de doctorat din acest domeniu[1].

Cred că ne îndreptăm spre momentul cînd va trebui să apară o disciplină academică dură, respectabilă și utilă, care să înfăptuiască pentru știință ceea ce științele economice realizează pentru viața economică a națiunilor. Nu mai putem lăsa aceasta pe seama „oamenilor de afaceri" ai științei, ci avem nevoie de o teorie de tipul celei keynesiene, în parte, pentru a o pune în slujba deciziilor de politică și pentru a preîntîmpina crizele înainte ca acestea să izbucnească și, în parte, pentru că trebuie să înțelegem mecanismul care determină știința să acționeze în modul în care acționează și să se dezvolte în modul în care ea se dezvoltă. Este de datoria sociologilor să cunoască tot ce este important pentru societate și nu este în mod necesar nici sarcina, nici de competența celor care activează în domeniul științelor naturii ca ei să folosească instrumentele profesiei lor împotriva propriei lor persoane și nici să acționeze ca propriii lor cobai.

Încă din anii 1920 și 1930, cînd a luat ființă[2] acest gen de „Știință a Științelor" a devenit evident că dificultatea esențială constă în elaborarea unei unități

[1] Tabelele au fost întocmite de Dr. E. Garfield, Institute for Scientific Information, Philadelphia, S.U.A.

[2] D. J. de Solla Price, *The Science of Science*, M. Goldsmith și A. Mackay (editori), Souvenir Press 1964. (Versiunea în limba română a acestei lucrări se găsește în volumul cu titlul „Știința despre știință", Editura Politică, 1968 — *N.T.*).

rezonabile de măsurare a efortului sau a producției științifice. Fondurile bănești destinate științei și tehnologiei au fost întotdeauna clare și au putut fi obținute destul de ușor, dar, în ciuda tuturor eforturilor depuse nu s-a putut descoperi un model sau o lege pentru această masă de date. De asemenea, s-a văzut clar încă de la început că aproape toate datele disponibile referitoare la oamenii de știință și la tehnică nu rezistă comparațiilor pe plan internațional și că, pe scurt, nici un singur mod de a măsura știința nu poate fi pus în legătură cu orice alt mod de a măsura știința.

După cum putem aprecia la ora actuală, această situație sumbră are două cauze distincte: pe de o parte, știința este o activitate atît de competitivă încît efectivul care o slujește este repartizat în forma unei piramide cu laturile foarte abrupte, cu un număr foarte mic de persoane de calitate excepțională în vîrful ei și cu un număr de persoane care crește rapid, pe măsură ce competența scade. Din comparația între două țări, se observă că o modificare foarte redusă a nivelului de calificare poate provoca modificări foarte mari în dimensiunea efectivului oamenilor de știință și al tehnicienilor. Pe de altă parte, acum începem să ne dăm seama că grupurile de forță de muncă științifică și tehnică nu reprezintă în nici un fel o unitate și nici chiar o continuitate. Ele sînt grupuri sociale cu totul diferite, care cuprind, pe de o parte, pe cei ce creează noile cunoștințe, — oamenii de știință din domeniul teoriei și al aplicației — și, pe de alta, pe cei care sînt creatorii de lucruri noi, substanțe chimice noi, mașini noi, inginerii și tehnologii. Linia de demarcație nu este de loc clară. Există mulți oameni care au calificare și formație științifică și tehnică și care nu aduc nici o contribuție nouă, nici în ce privește cunoștințele noastre

și nici înzestrarea noastră cu obiecte fabricate, dar care lucrează pe baza cunoștințelor pe care le-au acumulat, cu mult în spatele frontului de cercetare.

La aceste dificultăți se mai adaugă problemele pe care le ridică analiza oricăror date demografice și economice internaționale. În afara diferențelor în definițiile acestor date mai există și diferențe privind scopul. Uneori cifrele sînt astfel prezentate încît să fie cît mai mari cu putință, alteori cît mai mici. Uneori un stat se străduiește să prezinte maximum posibil de cheltuieli în această direcție, iar alteori cifrele sînt reduse la minimum. În Statele Unite și alte cîteva țări, cheltuielile de cercetare în întreprinderile industriale cele mai complexe din punct de vedere științific sînt însoțite de unele avantaje fiscale și de aceea este important ca cheltuielile foarte mari, în special în domeniul dezvoltării aparaturii electronice și aviatice, să fie incluse în capitolul „Cercetări și dezvoltare". Intr-adevăr, aceste cheltuieli ocupă o situație predominantă în totalul cheltuielilor naționale, astfel încît cifrele care reprezintă investițiile făcute de diferite țări în domeniul cercetării și al dezvoltării reflectă în primul rînd aceste cheltuieli, ceea ce practic nu oferă aproape nici o indicație cu privire la măsura în care o țară cheltuiește în realitate mai mult sau mai puțin decît alta pentru cercetări științifice și tehnice, în afară de ceea ce în esență face parte din cheltuielile pentru aparatura aeronautică și electronică.

Dificultățile deja menționate sînt considerabile, dar din fericire există un aspect al științei care ne permite să ocolim toate aceste neajunsuri. Știința are calitatea intrinsecă de a fi universală și internațională într-un sens foarte accentuat al acestor cuvinte. Cunoștințele

științifice sînt de așa natură încît, în afară de denumire, nu se poate spune dacă constanta lui Planck a fost descoperită de un om de culoare sau de un alb, de un evreu sau de un arab, de un german sau de un mexican, de un om sărac sau de unul bogat, sau într-un stat socialist ori într-unul capitalist. Din cauza naturii extrem de impersonale a cunoașterii științifice creatoare, ne găsim în situația paradoxală pe care Robert Merton a scos-o în evidență: proprietatea intelectuală privată asupra unei descoperiri sau creații nu poate fi asigurată decît printr-o publicitate largă și fățișă[3]. Cu cît publicitatea este mai fățișă, cu atît această proprietate privată este mai sigură. După părerea mea, acesta este motivul pentru care s-a ajuns pe plan internațional la o oarecare constanță cu privire la ceea ce constituie în orice domeniu o lucrare științifică de calitate, pentru a putea fi publicată într-o revistă științifică bună. S-ar putea ca criteriile să difere de la un domeniu la altul: bănuiesc, de pildă, că în orice țară este mai ușor să se publice o lucrare de chimie decît una de fizică. Desigur că lucrările se deosebesc enorm de mult unele de altele din punctul de vedere al valorii lor, cele mai importante reprezentînd o fracțiune minusculă din total. Se pare, însă, că limita inferioară a nivelului lucrărilor publicabile în revistele internaționale serioase face parte dintr-o convenție internațională generală și eficace — aproape cu caracter de conspirație — cu scopul de a menține în funcțiune această practică.

Datorită nivelului constant al lucrărilor, majoritatea celor care se ocupă de măsurarea producției științifice

[3] R. K. Merton, *Priorities in Scientific Discovery — A Chapter in the Sociology of Science*, în „American Sociological Review" XXII (1957), p. 635.

au fost nevoiți să țină evidența numărului lucrărilor, a autorilor și a descoperirilor cuprinse în aceste lucrări. Tehnica acceptată obișnuit constă în a indica existența unei mase mari de astfel de date culese pentru alte scopuri (ca de pildă pentru bibliografii științifice) și de a arăta cît este de atrăgător să se folosească aceste produse secundare ale activității științifice ca un mijloc de măsurare nesupărător și silențios. Apoi se arată că în mod inevitabil este mult mai convenabil să se facă o măsurătoare, care este relativ lesne de realizat, decît să se determine cu exactitate entitatea care a fost măsurată. După aceasta datele pot fi folosite după voie.

Este necesar un sfat, în special pentru oamenii de știință din domeniul științelor sociale, în ce privește modul de folosire a acestor cifre. După părerea mea, ele nu trebuie considerate date pur empirice care urmează a fi corelate și proiectate după maniera curentă. Cred că în loc de obișnuita „carte de bucate" a metodelor statistice, metodologia astrofizicii din epoca lui Jeans și Eddington trebuie luată ca prototip. Pe atunci se foloseau orice date venite din cer, deoarece nici nu putea fi vorba de experiențe și măsurători, iar apoi se încerca să se găsească legi și modele convenabile care să explice de ce aceste observații aveau forma și ordinea de mărime pe care o aveau.

Astfel, dacă se afirmă că o țară cheltuiește 4% din produsul său național brut (P.N.B.) pentru cercetare și dezvoltare (C & D) sau dacă se spune că în Israel ar exista 1% din numărul specialiștilor în fizică nucleară din lume, sau că un sfert din toate descoperirile științifice sînt redescoperiri, putem să admitem că această afirmație are un sens doar dacă știm la ce ar trebui să ne așteptăm și de ce. Nu se cere precizia și tehnica folosite pentru verificarea legii lui Boyle și nici carac-

terul complex al regresiilor și corelațiilor; inițial este nevoie de aceleași metode brute și rapide ca atunci cînd ne întrebăm cîte stele ar trebui să existe într-o galaxie.

Principala limitare în numărătoarea lucrărilor, a autorilor și a descoperirilor constă în faptul că este nevoie de liste publicate care să facă o selecție largă a lucrărilor cu un grad de uniformitate rezonabilă și care să fie suficient de cuprinzătoare. Pentru trecutul mai îndepărtat există lista completă a tuturor publicațiilor științifice din cursul secolului al optsprezecelea și repertorii suficient de bune ale periodicelor savante din lumea întreagă, care au apărut de atunci încoace. Datorită lui Reuss[4] există o bibliografie completă pentru secolul al optsprezecelea, deși aceasta prezintă dificultăți de numărătoare, cuprinzînd bibliografia întregii literaturi științifice și medicale. Pentru secolul al nouăsprezecelea există lucrarea excelentă și foarte completă *Royal Society's Catalogue of Scientific Papers, 1800—1900,* dar și cu aceasta se poate lucra numai prin sondaje și supoziții. Pentru perioada mai recentă statisticile cuprinzătoare din *Chemical Abstracts* și *Physics Abstracts* și alte cîteva publicații analoge, care încearcă să includă toate publicațiile mai importante din diferite domenii specifice, constituie surse excelente pentru anumite domenii ale științei.

Cu ajutorul acestor surse, cunoștințele noastre referitoare la regularitățile statistice rezultînd din măsurătorile producției științifice au progresat considerabil. În prezent se știe că productivitatea medie a oamenilor de știință — numărul oamenilor de știință care scriu o lu-

[4] J. D. Reuss, *Repertorium Commentationum a Societatibus Litterariis Editarum,* I—XVI, Göttingen, 1805.

crare, două, trei etc., într-un anumit interval de timp — nu diferă prea mult de la o țară la alta și aproape de loc de la un secol la altul, începînd din secolul al șaptesprezecelea, cînd s-a inventat lucrarea științifică, și pînă în ziua de azi. Aceasta este o confirmare binevenită a ipotezei noastre potrivit căreia cuantumul publicațiilor s-a menținut în ansamblu destul de constant. Ea servește și la confirmarea utilității definiției potrivit căreia omul de știință este orice persoană care a publicat cîndva o lucrare științifică. În termenii acestei definiții putem ajunge la orice altă definiție ce ar putea fi sugerată, în special la o definiție cu calificări similare dar mai stringente, de pildă, aceea că un om de știință este orice persoană care a publicat un articol într-o revistă internațională, cel puțin o dată în ultimii doi ani.

În orice caz, se știe de mult că, aproape indiferent de definiția exactă, ajungem la descoperirea interesantă că aceste măsurători ale producției științifice și ale forței de muncă științifice au crescut în mod exponențial cu o regularitate impresionantă și inevitabilă. Ele cresc într-o măsură atît de prodigioasă încît se dublează la fiecare interval de 7 sau 10 ani, în funcție de elementele ce se măsoară. Acesta este un ritm de creștere mult mai rapid decît cel aferent oricărei alte trăsături nonștiințifice și nontehnice a civilizației noastre. Ceea ce ne duce desigur la concluzia, cunoscută de toți, că 90% din totalitatea oamenilor de știință care au existat cîndva sînt acum în viață. Ea subliniază, de asemenea, faptul că majoritatea oamenilor de știință sînt tineri și că, prin urmare, majoritatea descoperirilor științifice sînt opera oamenilor tineri. Este, poate, demn de subliniat că toate aceste afirmații se bazează numai pe caracterul exponențial al creșterii și că ele nu sînt mai

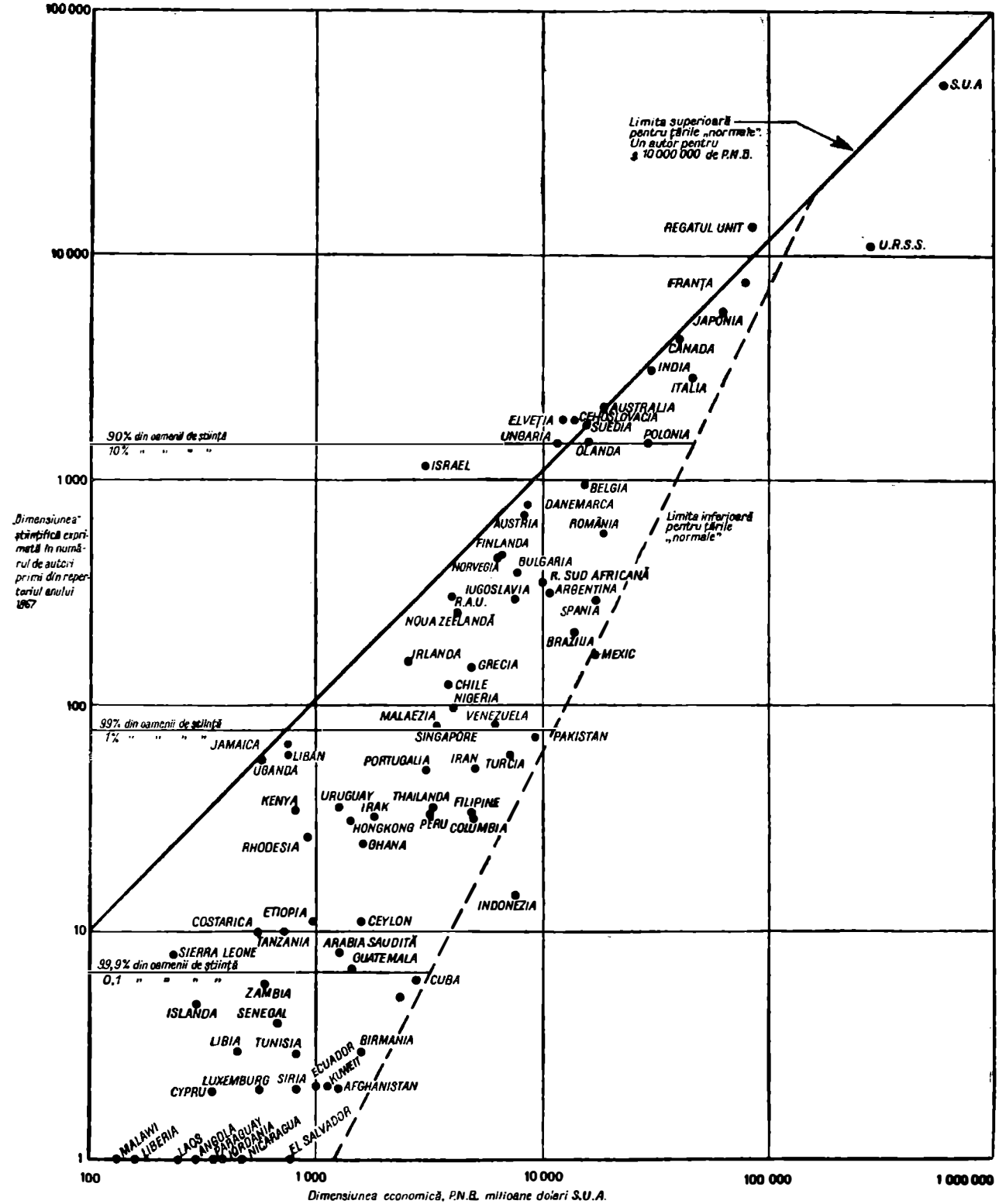

FIG. 20. CORELAȚIA ÎNTRE NUMĂRUL AUTORILOR DE LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI VALOAREA PRODUSULUI NAȚIONAL BRUT

adevărate azi decît erau cu o sută de ani sau chiar cu două secole în urmă. Dacă în prezent știința pare înfloritoare, aceasta se datorește unor factori foarte diferiți. Într-adevăr, multe din aceste fenomene nu se datoresc creșterii ritmului, ci unei tendințe cu totul contrarii. În țările supradezvoltate devine din ce în ce mai greu de ținut pasul cu care s-a obișnuit știința[5].

Pe lîngă legile impresionant de precise și regulate care guvernează distribuția productivității științifice și dezvoltarea exponențială generală, există și alte regularități bine conturate care confirmă faptul că numărarea lucrărilor și a autorilor este o procedură utilă. S-au făcut o serie de experimente de evaluare a lucrărilor prin impactul exercitat de acestea exprimat în termenii numărului de citate din aceste lucrări. S-au făcut de asemenea experiențe prin atribuirea meritului unei lucrări tuturor autorilor săi, proporțional cu numărul rîndurilor, în loc de a se acorda fiecăruia întreaga contribuție, așa cum este mai uzual. În ambele cazuri se poate arăta că efectul asupra legii generale este neglijabil deși, bineînțeles, numărul de lucrări pe fiecare autor în parte poate avea mult de suferit.

În alte direcții am putut scoate în evidență diferențele semnificative în structura rețelei care leagă o lucrare de alta în diferite domenii ale științei și s-au înregistrat succese interesante în analiza procesului descoperirilor multiple, cînd doi sau mai mulți autori descoperă și publică, concomitent sau la epoci diferite, în esență același lucru, fără însă ca acești autori să aibă cunoștință de lucrarea celuilalt sau a celorlalți autori. Se poate dovedi că acest paralelism

[5] Pentru o tratare mai amplă, a se vedea cap. I al lucrării de față.

este normal şi că el este absolut fortuit şi conform unei distribuţii de tip Poisson. Aproape un sfert din toate descoperirile sînt redescoperiri, ştiinţa este un proces extrem de „redundant" şi aceasta s-ar putea să reprezinte o parte a esenţei caracterului său de autocontrol.

S-ar putea ca datele numerice cele mai interesante şi, fără îndoială, cele mai interesante de care dispunem, să se refere la modul în care ştiinţa este repartizată între ţări şi pe domenii ale ştiinţei. Problema fundamentală a politicii ştiinţifice este, în definitiv, aceea de a şti suma de cheltuit pentru fiecare din diferitele activităţi ştiinţifice şi tehnice. În ultimii ani s-a publicat o listă a lucrărilor după ţara de apariţie pentru miile de lucrări care apar anual şi sînt semnalate în revistelecheie, *Chemical Abstracts* şi *Physics Abstracts;* în ultimul caz există subdiviziuni atît pe specialităţi în domeniul fizicii, cît şi după ţara de apariţie[6]. Prima constatare generală importantă este aceea că contribuţia diferitelor ţări este similară în domeniul chimiei şi al fizicii în general şi în privinţa diferitelor secţiuni ale fizicii[7]. S-ar fi putut presupune în această privinţă existenţa unei mari variaţii între diferite ţări, dar în realitate neregularităţile sînt foarte reduse, iar cele care există pot fi uşor explicate prin unele particularităţi bine cunoscute. A doua constatare este aceea că cota-parte a fiecărei ţări din literatura ştiinţifică mon-

[6] Stella Keenan şi Pauline Atherton, *The Journal Literature of Physics — A Comprehensive Study Based on Physics Abstracts,* în „Science *Abstracts*" Section A, 1961, The American Institute of Physics, New York, AIP/DRP PAI, 1964.

[7] D. J. de Solla Price, *Nations Can Publish or Perish,* în *„International Science and Technology"* LXX (1967), pp. 84—90.

dială este foarte apropiată — aproape întotdeauna în limitele unui factor egal cu doi — de cota-parte a țării respective în avuția mondială, evaluată cît se poate de potrivit în termenii produsului național brut. Această cotă-parte diferă mult de aceea a populației mondiale și are o legătură mai strînsă cu cota-parte a avuției decît cu sumele cheltuite pentru învățămîntul superior al statului respectiv.

Motivul acestei echivalențe aproximative este în fond simplu. Toate celelalte elemente fiind egale, s-ar putea presupune că dimensiunea științifică a unei națiuni trebuie să fie proporțională cu populația sa: două țări egale luate la un loc ar trebui să reprezinte o țară de dimensiuni duble, atît în privința științei cît și a populației. De asemenea, pare rezonabil să presupunem că dimensiunea științifică trebuie legată de o anumită funcție a avuției acestei țări, ce ar putea fi măsurată după *venitul per capita*. Fiind proporțională cu acești doi factori, dimensiunea științifică este deci determinată de populația înmulțită cu o anumită funcție a avuției *per capita*. Acest produs trebuie și el să fie aditiv, astfel încît singura funcție simplă ce poate fi folosită este avuția *per capita* însăși, iar prin înmulțirea ei cu populația totală revenim din nou la avuția totală. Aceasta se măsoară în modul cel mai convențional prin produsul național brut deoarece caracterul brut al acestor date face inutilă distincția între P.N.B. la costul factorilor sau orice altă varietate rațională de date exprimate în monedă constantă. O formulare alternativă a acestei propoziții în termeni pe care unii i-ar considera mai acceptabili este aceea că pentru țările globului activitatea *per capita* în domeniul științei are o corelație pronunțată cu avuția *per capita*.

Pentru a da un exemplu concret, S.U.A. publică aproximativ o treime din volumul lucrărilor în domeniul fizicii și chimiei care apar pe plan mondial, o treime din cele din domeniul astrofizicii și obține aproximativ o treime din marile premii și descoperiri, deținînd totodată aproximativ o treime din avuția mondială. Contribuția S.U.A. în acest domeniu depășește cu mult 6%, procent care reprezintă cota-parte a populației sale în populația mondială, și nu este egală cu cota-parte ce îi revine din cheltuielile militare, care depășește 1/3 din cheltuielile militare mondiale sau cu cota-parte ce îi revine din populația universitară. Pentru a face o altă comparație elocventă, Canada și India dețin fiecare aproximativ 2% din produsul național brut mondial și un volum de știință aproape egal, deși populația Indiei este de 25 ori mai numeroasă decît cea a Canadei.

Principala lacună a tuturor datelor disponibile în trecut pe această linie o consituie faptul că ele au fost clasificate după țara de publicație a lucrărilor și nu după locul unde s-a efectuat lucrarea științifică. Aceasta pare a avea o influență relativ mică asupra cifrelor așteptate pentru majoritatea țărilor mari, în fiecare din aceste țări existînd mai multe publicații folosite pe scară internațională. Au existat însă unele deformări evidente, ca cea datorată apariției în Olanda a mai multor reviste de fizică de importanță mai curînd internațională, decît națională. Acest fenomen a prezentat inconvenientul grav al neglijării aproape în întregime a contribuției acelor țări care erau mai mici decît cele „Zece Mari" și al publicării celei mai mari părți a articolelor valoroase din țările mai mici în publicațiile țărilor mai mari. De aceea din datele anterioare nu rezultă clar dacă în aceste țări

există în fapt un fel de „deșert" științific în care munca științifică să fie aproape complet absentă.

Mulțumită unui nou produs secundar al căutării constante de către omul de știință pentru a găsi instrumente bibliografice mai perfecționate, putem îndrepta acum această situație și pentru prima oară putem prezenta o serie de cifre pentru toate țările și orașele mai mici care se ocupă de știință, inclusiv cele din Israel, care întîmplător prezintă o situație mai extremă decît orice alt caz cunoscut. Noul instrument folosit recent este *International Directory of Research and Development Scientists, 1967* (Repertoriul Internațional al oamenilor de știință din domeniul cercetării și dezvoltării, 1967) editat de Institutul de informare științifică din Philadelphia, care publică și *Science Citation Index* (Indicele de citate științifice); acesta din urmă a fost de asemenea extrem de valoros ca sursă de date statistice. Noul *repertoriu* enumeră în ordinea geografică, pe țări, state și orașe, precum și pe instituții, numele fiecărui om de știință care figurează primul, ca autor al unei lucrări în publicația *Current Contents* din anul 1967. Această publicație cuprinde, desigur, o selecție amplă a principalelor reviste din întreaga lume în toate domeniile științei și ale tehnologiei inclusiv medicina, iar din diferite verificări se știe că ea cuprinde 80—90% din valoarea de impact, măsurată prin citatele din bibliografia publicației respective.

Lacuna principală a noilor date constă în aceea că ea cuprinde doar lista primilor autori ai articolelor, o serie de nume de autori se pierd și aceasta în special în țările în care există convenția instituțională și ierarhică ca șeful unei instituții sau un profesor să fie pus în mod automat primul, ca autor. Ca rezultat al lipsei unei convenții internaționale, numărul autorilor

pentru aceste țări poate fi micșorat chiar cu un factor egal cu doi, față de țările în care numele autorilor sînt înșiruite, uneori în ordine alfabetică, uneori în ordinea meritului, după poziția sa sau după nici unul din aceste principii. Datele acestea constituie totuși, pentru prima dată, cifre destul de sigure în ce privește orașele și țările pentru care nici o numărătoare anterioară nu era suficient de universală și cuprinzătoare. Desigur că cifrele sînt valabile doar la o scară relativă și au o semnificație absolută redusă, dat fiind că numai o parte a autorilor publică lucrări în decursul fiecărui an, iar localitatea este întotdeauna cea menționată în lucrare ca adresă oficială de unde se pot obține extrasele imprimate. Este însă greu să se găsească o definiție mai corespunzătoare a țării în care se produce știința și care să poată fi aplicată în mod atît de automat.

Rezultatul unei numărători efectuate cu ajutorul unui calculator electronic, privind producția primului an a acestui indicator, care prezintă cîteva erori de corectură și care fără îndoială se va perfecționa an de an, arată că 90% din știința mondială este concentrată în 14 țări și că 40 de state nu furnizează la un loc decît 1% din lucrările științifice pe plan mondial. România ocupă locul 23, avînd un număr de oameni de știință comparabil cu cel existent în Austria și Finlanda, sau cu cel din orașe cum sînt Ottawa sau Stockholm (tabelul 4). În București, există un număr de oameni de știință comparabil cu cel existent în întreaga Bulgarie, mai mare decît cel din Argentina sau R.A.U.

Datorită acestor cifre se poate vedea, pentru prima dată, modul în care fiecare țară își repartizează efectivul științific între principalele sale orașe (tabelul 5).

Această repartiție este foarte diferită de aceea a populației nonștiințifice din orașele respective. Este interesant de observat că pe această bază se poate stabili pentru fiecare țară care sînt principalele orașe în care se desfășoară o activitate științifică, inclusiv cele pentru care se poate presupune că volumul lucrărilor științifice este mai mare decît cel publicat.

Poate că interesul cel mai mare pe care îl prezintă noile date rezultă din investigarea modului în care contribuția țărilor mai mici la știința pe plan mondial se compară cu cota-parte a acestor țări la avuția mondială și la populația din lumea întreagă.

Tabelul 4

MARI ORAȘE CU ACTIVITATE ȘTIINȚIFICĂ
(numărul primilor autori ai lucrărilor științifice din 1967)

Din lumea întreagă		*Din lumea întreagă*	
Moscova	4 982	Montreal	522
Londra	2 915	Milano	480
Paris	1 804	Varșovia	460
Tokio	1 681	Copenhaga	454
Leningrad	1 309↑10%	Zürich	444
Praga	882	Birmingham	427
Kiev	728	Kyoto	418
Cambridge	720	Glasgow	386
Osaka	719	Roma	386
Budapesta	667	Manchester	386
Oxford	635	Ierusalim	374
München	627	*București*	*370*
Ottawa	571	Viena	364↑20%
Stockholm	546	Edinburg	357
Toronto	526	Orsay	350
		Sydney	341

Din lumea întreagă	
Hamburg	331
Basel	323
Sofia	321
Frankfurt	307
Geneva	306
Vancouver	296
Nagoya	293
Melbourne	292
Bruxelles	290
Uppsala	289
Amsterdam	285
Delhi	283
Freiburg	280
Calcutta	276

Din lumea întreagă		
Sheiffield	276	
Liverpool	275	
Gothenburg	274	
Harkov	270	
Bristol	264	
Helsinki	263	
Strassbourg	259	
Rehovoth	252	
Sendai	251	
Oslo	250↑33020	
Leeds	249	50% din nr. total al oamenilor de ştiinţă din întreaga lume
Gif-Yvette	248	
Edmonton	243	
Minsk	231	

Din S.U.A.	
New York	2 783
Washington	1 506
Boston	1 453
Philadelphia	1 407
Chicago	1 404
Los Angeles	1 205
Cambridge Mass.	1 010
Bethesda	911
Berkeley	869↑10%
Pittsburgh	720
Madison	702
Ann Arbor	679
Seattle	648
Cleveland	632
San Francisco	613
Houston	576
Minneapolis	575

Din S.U.A.	
New Haven	543
St. Louis	537
Princeton	480
Buffalo	473
Columbus	459
Urbana	458
Palo Alto	451
Rochester	448
Pasadena	444
Standford	406
Ithaca	405
Durham, N.C.	394
New Orleans	369
Murray Hill N.J.	366
Denver	350
Oak Ridge	327
Detroit	325

Din S.U.A.		*Din S.U.A.*	
Dallas	323↑20%	Syracuse	252↑28974
Boulder	317	University Park, Pa	249
Gainsville	311	East Lansing	247
Rochester, Minn.	307	San Diego	246
Bronx	298	Upton, N.Y.	246
Atlanta	296	La Jolla	231
Davis, Calif.	294	Indianapolis	227
Cincinatti	290	Dayton	208
Argonne	286	Salt Lake City	203
Iowa City	282	New Brunswick, N.J.	197
Lafayette	281	Nashville, Tenn.	194
Ames	256	Lexington, Ky.	194
Austin	253	Portland, Oreg.	190

Tabelul 5

DISTRIBUȚIA PROCENTUALĂ A OAMENILOR DE ȘTIINȚĂ CARE AU PUBLICAȚII, DIN UNELE ȚĂRI, – PE PRINCIPALELE ORAȘE

Statele Unite ale Americii		*U.R.S.S.*		*Regatul Unit*	
New York	5	Moscova	50	Londra	23
Washington DC	3	Leningrad	13	Cambridge	5
Boston	3	Kiev	7	Oxford	4
		Harkov	5	Birmingham	3
				Glasgow	3
				Manchester	3
Franța				*Japonia*	
Paris	26			Tokio	33
Orsay	5			Osaka	14
Gif-Yvette	3			Kyoto	8
				Nagoya	6

Canada		*Italia*		*România*	
Ottawa	14	Milano	18	Bucureşti	66
Toronto	13	Roma	14		
Montreal	13				
Cehoslovacia		*Ungaria*		*Polonia*	
Praga	52	Budapesta	66	Varşovia	35
Suedia		*Danemarca*		*Elveţia*	
Stockholm	33	Copenhaga	62	Zürich	25

Această listă include oraşele ştiinţifice din lumea întreagă, în afară de S.U.A. (cu excepţia celor trei menţionate), pînă la mărimea Ierusalimului.

Tabelul 6

DISTRIBUŢIA PROCENTUALĂ A POPULAŢIEI MONDIALE, A PRODUSULUI NAŢIONAL BRUT ŞI A PERSONALULUI ŞTIINŢIFIC CU LUCRĂRI PUBLICATE

	Populaţie	*P.N.B.*	*Oameni de ştiinţă*
S.U.A.	5,9	32,8	41,5
U.R.S.S.	7,0	15,6	8,0
Regatul Unit	1,6	4,8	8,1
Franţa	1,4	4,5	5,4
Japonia	2,9	3,6	4,1
Italia	1,5	2,6	2,2
Canada	0,6	2,2	3,2
India	14,4	2,2	2,3
Elveţia	0,2	0,6	1,4
Israel	0,08	0,15	0,9
Restul ţărilor din Orientul Apropiat	2,5	0,85	0,4
America Latină	7,0	3,7	0,9

Avuția *per capita* determină numai într-o măsură oarecare puterea științifică ce revine *per capita*. Așa cum rezultă din grafic (fig. 20) puterea științifică totală este în corelație pronunțată cu avuția economică în cazul majorității țărilor de pe glob. Țările cele mai dezvoltate din punct de vedere științific, de la cele mai mari și pînă la cele mai mici, se grupează toate de-a lungul unei linii care corespunde unui autor care figurează în *International Index* pentru fiecare 10 milioane dolari de produs național brut. Nu trebuie pierdut din vedere faptul că acest număr de autori reprezintă doar un indicator relativ și nu absolut al numărului total de lucrători științifici. Putem normaliza într-o oarecare măsură datele dacă observăm că în 1964 sau în jurul acestui an, majoritatea statelor avansate și mici au cheltuit aproximativ unu la sută din produsul lor național brut pentru cercetări științifice fundamentale și aplicative, dar fără a include cheltuielile considerabile din domeniul cercetării de dezvoltare[8]. Dacă am presupune că *International Index* enumeră pentru fiecare țară doar aproximativ un sfert din numărul total al acelor oameni de știință care se ocupă de cercetare și că restul de 3/4 sînt antrenați în lucrări care nu vor fi publicate în anul respectiv (sau chiar niciodată!), atunci rezultă că fiecare țară cheltuiește pentru fiecare grup de patru oameni de știință aproximativ 100 000 de dolari — deci 25 000 de dolari pentru fiecare

[8] De remarcat că cifra de 1% nu este constantă. Ea trebuie să se dubleze o dată la 10 ani sau aproximativ la acest interval, astfel încît pe la mijlocul anilor 1970—1980 ea va fi de 2%. Cercetarea științifică crește în ce privește numărul personalului și devine mai costisitoare raportată la fiecare om: ambele rate de creștere sînt cel puțin la fel de rapide ca aceea a P.N.B.

om de știință — sumă care acoperă salariul și cheltuielile pentru echipament și regie generală.

Numai țările binecunoscute în privința activității științifice se apropie aproximativ de această limită; majoritatea țărilor mai mici scad sub această limită, iar cu cît o țară este mai mică cu atît ea va scădea mai mult sub această normă.

(6)

Cercetare asupra cercetării

Majoritatea oamenilor de știință studiază natura înconjurătoare și comportamentul elementelor sale atît însuflețite cît și neînsuflețite — ei sînt biologii și fizicienii, chimiștii și astronomii. Obiectul curiozității noastre îl formează natura științei însăși, precum și comportamentul omului de știință în cercetarea acesteia. De ce și cum acționează omul de știință? De ce știința „apare" tocmai în modul în care ea apare și nu altfel? Iar, pe scurt, ca să folosim însăși metafora pe care o folosesc oamenii de știință, care este mecanismul care face ca știința să funcționeze? Cum este posibil ca o succesiune de acțiuni izolate, să se poată acumula în cunoașterea științifică într-un mod care pare să ajungă mai departe și mai repede decît cunoștințele nonștiințifice?

Ca un preambul, datorită caracterului special al acestei cercetări, este necesar să aruncăm o privire asupra acelor „profesiuni paraștiințifice" — cum le-a denumit cîndva George Sarton — specialitățile academice ale istoriei și filozofiei științei, împreună cu adaosurile mai recente ale sociologiei și economiei științei, ale psihologiei oamenilor de știință (și a psihiatriei lor, în măsura în care aceasta este specială). Ar trebui poate să includem și domeniile studiilor de conducere a cercetării și studiilor de politică a științei, ambele devenind tot mai diverse și mai puternice, pe măsură ce crește importanța științei în cadrul marilor întreprinderi și al administrației publice mai extinse.

Întregul complex, împreună cu tipul materialului pe care îl voi expune aici, este denumit uneori „știința științelor"; această denumire îmi displace, motiv pentru care încerc un experiment cu titlul acestui capitol. Cu toate acestea, se pare că denumirile care conțin repetări nu mai sînt la modă în domeniul științei încă din ziua în care a fost botezat Galileo Galilei. Predilecția mea pentru acest gen de muncă intelectuală și, nu pentru alta, izvorăște din dorința de a vedea toate laturile frontului cercetării în toate ramurile științei; în timp ce încercam să intru în grațiile muzei istoriei, nu am reușit să uit nici un moment că am fost fizician. De aceea am fost întotdeauna foarte mult ispitit să încerc să înțeleg mecanismul de funcționare al științei, nu în maniera umanistă uzuală, ci cu instrumentele dure și precise, cantitative și matematice, ale modului de gîndire și de înțelegere ale fizicianului.

Dar îndemnul, pe de o parte și căile de a-l îndeplini, pe de alta, sînt două lucruri diferite. Gîndirea cantitativă este absolut imposibilă fără un stoc apreciabil de date. Cînd Bernal scria despre organizarea socială a științei pe la sfîrșitul anilor 1930—1940, datele exacte de care el dispunea pentru a stabili numărul oamenilor de știință existenți sau importanța realizărilor dintr-un anumit domeniu al științei sau într-o anumită țară erau aproape inexistente. În prezent, cînd ne aflăm deja în era atomică și spațială și mulțumită preocupărilor guvernamentale de a justifica fondurile solicitate și efectivul de care dispunem, avem la îndemînă statistici cuprinzătoare din mai multe țări, inclusiv volumul impresionant de date prelucrate de mașini și publicate în masă, de toate agențiile federale ale guvernului Statelor Unite. Ocupîndu-ne de creșterea gigantică a literaturii științifice, de societățile științifice

de proporții foarte mari și de revistele publicate de acestea, ne găsim în posesia unui depozit de date, care adeseori sînt produsul incidental al funcției principale de conducere, și care erau inexistente pînă cu aproximativ zece ani în urmă.

În unele privințe volumul datelor disponibile creează, în cazul de față, dificultăți, după cum s-a întîmplat și în domeniul meteorologiei. Este nevoie de un mare număr de date pentru a elabora chiar și o teorie șubredă, iar pentru a putea explica chiar o cantitate redusă de date, cu o suficientă claritate pentru a efectua previziuni mărunte, este nevoie de multă teorie. Situația este destul de asemănătoare cu cea în care se afla astronomia pe timpul lui Tycho Brahe, situație pe care cel care se ocupă de istoria științei o cunoaște foarte bine, fiind unul din cazurile „cheie" în studiul său. S-a acumulat o masă de date; noi am început să procedăm la generalizări și proiecții empirice comparabile cu legile lui Kepler ale mișcării planetelor. Etapa actuală trebuie să fie continuarea ambelor eforturi, precum și o epocă în care se fac primii pași, șovăitori, spre acele legi newtoniene care vor explica cu exactitate de ce mișcările descrise de Kepler se comportă într-un anumit mod.

Este greu de realizat o înțelegere de acest gen. Ea presupune necesitatea de a fi nu numai un om de litere, ci și un om familiarizat cu matematica. Va trebui să gîndim în numere. Iar acest lucru este și mai dificil, datorită faptului că în cazul de față oamenii de știință devin propriii lor cobai de experiență într-o manieră de tip Haldane și ei au suspiciuni foarte puternice, uneori aproape psihotice, față de orice încercare de a-i evalua pe ei și lucrările lor în același mod în care ei evaluează universul. În cazul de față, sus-

piciunile sînt parțial justificate deoarece metodologia fundamentală are o asemănare supărătoare cu ceea ce mi s-a povestit despre metoda de cîntărire a porcilor, practicată în Texas. Pe o scîndură basculantă se așază, la un capăt, porcul care trebuie cîntărit, iar la celălalt capăt se așază pietre pînă în momentul în care scîndura ajunge la echilibru. Apoi se evaluează greutatea pietrelor.

În lucrarea de față am folosit numărătoarea efectivului științific al lucrărilor și revistelor publicate, al brevetelor și al sumelor de bani, apoi am presupus că toate aceste cantități măsoară într-un mod misterios „dimensiunea" științei. Poate că metoda nu este chiar atît de rea cum pare. Majoritatea măsurătorilor arată o regularitate statistică foarte accentuată și se supun cu o precizie remarcabilă unor legi echivalente cu legile lui Kepler. Știința măsurată în acest mod, deși el pare puțin riguros, are un comportament mult mai regulat decît majoritatea caracteristicilor măsurabile ale civilizației noastre. Se poate spune că știința are un comportament mult mai regulat decît oamenii.

Este posibil ca exemplul cel mai bun al acestei regularități să fie observat în prima lege a cercetării asupra cercetării. Această lege afirmă că dacă se măsoară dimensiunea științei în funcție de timp, se constată că progresul reprezintă o creștere exponențială regulată, valabilă pentru perioada care durează de 200 de ani și că ea menține o rată de creștere asemănătoare dobînzii compuse, care se dublează la fiecare interval de 10—15 ani, o înmulțire cu un factor egal cu 10, de două sau de trei ori în cursul unui secol. Se obține o rată aproape egală, indiferent dacă este vorba de numărul oamenilor de știință, al publicațiilor științifice sau al lucrărilor publicate în acestea. Ratele variază

foarte puțin de la un domeniu științific la altul, de la o țară la alta.

Pentru a deplasa acest exemplu la etapa următoare, pe lîngă considerații numai de ordin empiric, trebuie să punem două feluri de întrebări. În primul rînd, de ce creșterea regulată este exponențială și cum poate fi calculată rata creșterii sale pe baza altor parametri? În al doilea rînd, această lege a creșterii fiind dată, ce alte consecințe decurg din ea și cum se leagă de alte aspecte ale științei ce ar putea fi măsurabile? Prima întrebare, care pretinde cunoașterea oricărui mecanism care stă la baza științei, are o prioritate evidentă: pentru un matematician este evident că creșterea exponențială decurge ca o soluție din ecuația diferențială $dx/dt = kt$; adică, situația este valabilă atunci cînd rata creșterii este menținută într-un mod oarecare într-o proporție constantă față de mărimea atinsă de populație. Oamenii de știință generează alți oameni de știință, iar cunoștințele mai vechi dau naștere cunoștințelor noi, într-un ritm constant. Se pare că acest lucru este adevărat pentru toate cunoștințele și toate tipurile de oameni, dar, așa cum vom arăta mai jos, în ce privește știința și oamenii de știință, se pare că există o structură specială a frontului cercetării care conferă acestei activități o rată de creștere care depășește cu mult orice alte activități ale speciei umane.

Pentru a doua întrebare care se referă la consecințele acestui mod de creștere, există unele răspunsuri oarecum celebre. Printre aceste consecințe este faptul că majoritatea oamenilor de știință din toate timpurile sînt încă în viață acum și că majoritatea acestor oameni de știință în viață sînt oameni tineri. Aceste fapte alarmante sînt foarte ușor de dovedit. În prezent, vorbind în linii mari, toți oamenii de știință care s-au

născut cu 20 pînă la 65 de ani în urmă sînt în viață. După o evaluare minimală, intervalul acesta reprezintă trei perioade în care știința s-a dublat ca dimensiune. De aceea, pentru orice persoană născută înainte de prima din aceste perioade va exista încă o persoană din prima perioadă de dublare, două din a doua perioadă și patru din ultima perioadă. Așadar, dintr-un număr de opt oameni de știință care au trăit cîndva, șapte trăiesc în prezent, patru din ei începîndu-și activitatea în ultimii 15 ani. Rezultă că 87,5% (sau în cifră rotundă 90%) din toți oamenii de știință care au existat vreodată trăiesc în prezent, și că din aceștia, mai mult de jumătate activează de mai puțin de 12 ani.

Deși argumentul este atît de simplu, faptele dau o explicație destul de profundă unora din caracteristicile cele mai pătrunzătoare ale științei, observată de istorici și sociologi. Știința are o calitate persistentă, aceea de a fi imediată și juvenilă. Faptul că oamenii de știință sînt tineri și că jumătate din tot ce știm s-a descoperit în ultimii zece ani este valabil nu numai în prezent; acest lucru a fost adevărat întotdeauna. Dat fiind că aceasta este o consecință a creșterii exponențiale care a predominat în ultimii 200 sau chiar 300 de ani, Ben Franklin și poate chiar Isaac Newton ar fi putut afirma același lucru cu privire la ceea ce era nou și la măsura în care știința era produsul epocii lor, așa cum nu fusese niciodată posibil să se spună în perioadele anterioare. Știința înaintează cu mult mai repede decît oamenii, cu mult mai repede decît civilizația.

Cele arătate mai sus nu evidențiază cît de acută este situația de fapt. Oamenii intră în domeniul științei și ideile noi își fac apariția pe scenă; unii oameni părăsesc scena, iar unele idei dispar prin respingere și desuetudine. Orice măsurătoare judicioasă poate arăta

că procentul mortalității este de aceeași ordine de mărime ca și creșterea globală. Dat fiind că coeficientul general al creșterii este de ordinul a 7% anual, urmează că aceasta este rezultatul unui coeficient de natalitate de aproximativ 15% anual și al unui coeficient de mortalitate de 7% sau 8% anual. Situația aceasta este oarecum asemănătoare cu aceea a unui sat foarte primitiv în care toate femeile nasc aproape în fiecare an, dar în care situația medicinii este la un nivel atît de scăzut încît un segment apreciabil al populației, atît adulți cît și copii, moare în fiecare an. Rezultatul este că satul respectiv conține un nucleu foarte redus de adulți care furnizează forța de muncă și care din întîmplare au putut supraviețui atît de mult, și o mare masă de copii mici, care s-ar putea spune că nu fac decît să treacă prin existență.

Se întîmplă că într-un sat de acest gen sau, ca să revenim la oamenii de știință, într-o populație de oameni de știință, majoritatea celor care exercită această profesie sînt nou-veniți în rîndurile ei, dar că aproape o jumătate din munca depusă — calculată în om-ani — se datorește acelei mici minorități stabile de indivizi care întîmplător au supraviețuit mortalității enorme. Exprimată în cifre dure — indiferent de modul în care se fac măsurătorile — dimensiunea nucleului rezistent, căruia i se datorează aproximativ jumătate din om-anii de lucru (jumătate din lucrări), este aproximativ egală cu rădăcina pătrată a mărimii populației totale. Numărul mare de copii „care trec prin existență" are corespondentul său în știință. În această epocă de mare dependență financiară a oamenilor de știință tineri față de cei în vîrstă, cei tineri devin asistenții și colaboratorii celor mai în vîrstă și tocmai acest proces explică creșterea rapidă a numărului au-

torilor în colaborare ai lucrărilor științifice. În 1870 erau foarte rare cazurile cînd o lucrare științifică avea doi pretendenți la proprietatea intelectuală, în loc de unul singur. Către anul 1970 vom fi făcut pași importanți pe calea lichidării complete a lucrărilor elaborate de un singur autor în domeniile științifice cele mai presante și mai mult finanțate și chiar ne vom îndrepta spre fenomenul unui număr aproape infinit de autori pentru fiecare din numărul aproape infinit de lucrări. Toți autorii secundari — acei care nu fac decît să treacă prin știință — sînt o parte din cursa nebunească a științei moderne; numele lor mărește lista din publicația „Oamenii de știință americani", iar în următoarea ediție a acesteia multe din aceste nume vor fi dispărut, altele le vor lua locul, și numai rădăcina pătrată a populației rămîne ca nucleu al oamenilor „cunoscuți".

Tot în spiritul anchetei noastre există în acest caz două modalități de a proceda, și anume: putem cere o „lege newtoniană" care să guverneze cursa nebunească sau putem formula cererea de a obține unele consecințe practice în afara celor pe care le-am menționat. Este posibil ca principala consecință să fie faptul că prin investigarea personajelor de importanță minoră se poate arăta cu ușurință că colaborarea nu înseamnă comasarea talentelor pentru a produce o lucrare mai bună sau o lucrare diferită; în majoritatea cazurilor ea trebuie să fie un instrument cu ajutorul căruia să se obțină lucrări de la persoane care, în esență, nu par capabile să producă decît cel mult o jumătate dintr-o lucrare științifică. Numărul acestora este cu mult mai mare decît îndoitul numărului celor care sînt capabili să producă un articol întreg; astfel, prin utilizarea forței de muncă de calitate inferioară, producția de

lucrări științifice poate fi mai mult decît dublată. Nu este nevoie de nimic altceva decît de un număr suficient de persoane capabile și mai în vîrstă care să conducă echipele și de stimulenți suficienți pentru a determina marele număr de persoane mai puțin valoroase să aspire cu avînt la șansa de a supraviețui și de a deveni una din personalitățile mari și în vîrstă.

Pentru a atenua întrucîtva situația, aș propune cu tărie să hotărîm recunoașterea dreptului de autor în proporție de $1/n$ dintr-un punct pentru fiecare din cei n autori ai unei lucrări scrise în colaborare. Din legile noastre rezultă destul de limpede că, în medie, ei nu merită mai mult decît atît. Desigur că ei nu merită cîte un punct fiecare.

Legea exactă din care decurg acestea, legea distribuției calității în rîndul oamenilor, lucrărilor, revistelor, instituțiilor etc., ar putea fi denumită a doua lege a cercetării asupra cercetării. Rezultă că distribuția este, în toate cazurile, destul de asemănătoare cu legea lui Pareto a repartiției veniturilor economice dintr-o țară. Ea este asemănătoare și cu legea lui Zipf care reglementează mărimea orașelor în cadrul unui teritoriu sau lungimea cuvintelor sau a propozițiilor într-un eșantion de limbaj. Toate aceste legi sînt aproximații matematice care, în linii mari, sînt echivalente unele față de altele, fiind distribuții logaritmice normale sau distribuții aproximativ conforme legii pătratelor inverse. Ele sînt foarte asimetrice și foarte diferite de distribuțiile obișnuite de tip Gauss, care au aplicabilitate universală la entități cum ar fi înălțimea, greutatea și inteligența populațiilor mari.

O modalitate de a examina aceste distribuții este de a le compara cu bulele de săpun. Aceste bule au proprietatea curioasă că atunci cînd două din ele se întîl-

nesc şi vin în contact, cea mai mică măreşte volumul celei mari. În majoritatea celorlalte cazuri de interacţiune fizică tot ce este mare cedează faţă de ce este mic, astfel încît universul se nivelează treptat în drumul său spre moartea cea mare a căldurii, datorită legii entropiei. În ce priveşte bulele de săpun şi oamenii de ştiinţă, semnul interacţiunii este inversat, iar statisticile populaţiei tind spre situaţia în care majoritatea spaţiului este ocupat de un număr foarte mic de bule mari. În mod corespunzător, cea mai mare parte a lucrărilor ştiinţifice este efectuată de cîţiva oameni de ştiinţă foarte capabili şi productivi, deşi un număr foarte mare de persoane mai puţin valoroase se străduiesc să atingă această situaţie proeminentă, murind ca muştele pe drum.

Pentru a fi cu ceva mai precişi în privinţa acestei distribuţii, şansa, exprimată în cifre, de a dubla dimensiunea realizărilor, atît în ce priveşte oamenii cît şi instituţiile, este în mod uniform de aproximativ 1 la 4, indiferent de mărimea deja atinsă. Şansa unui autor de a publica alte zece lucrări dacă a publicat deja zece este de aproape 1 la 4; şansa de a elabora încă o lucrare dacă nu a publicat deja decît una singură este de 1 la 4. Mortalitatea reprezintă întotdeauna celelalte 3 şanse din 4; mortalitatea se datoreşte întotdeauna principiului bulei de săpun; oamenii de ştiinţă cei mai eminenţi şi cu mai multă experienţă tind să obţină rezultate înaintea celor care se află pe o treaptă inferioară. Ştiinţa este întîmplător de aşa natură încît ea pare a fi singurul domeniu ce a mai rămas de descoperit. Dacă constanta este descoperită de Plank, nu se mai poate repeta această descoperire: ea a fost deja făcută. Dacă Beethoven nu ar fi existat, alţii ar fi scris simfonii cu totul diferite; opera lui Beethoven nu poate fi

confundată. Dacă însă Plank nu ar fi făcut această descoperire specifică, ar fi trebuit ca altul să o facă, iar istoricul științelor moderne știe că acesta ar fi făcut descoperirea destul de repede. Majoritatea descoperirilor care merită să fie făcute sînt într-adevăr făcute de mai multe persoane, astfel încît sindromul priorității disputate și al controversei ulterioare pentru recunoașterea priorității este unul din cele mai cunoscute în istorie. Merton a examinat din punctul de vedere al sociologului acest tip de acțiune de genul bulei de săpun, iar pentru el acesta a devenit principiul biblic al lui Matei „celui care are i se va da și celui care nu are i se va lua chiar ceea ce are". Știința este un cîmp de luptă destul de necruțător.

La acest punct trebuie să ne întoarcem în urmă, pentru a examina mecanismul fundamental prin care știința acumulează și se poate dezvolta exponențial într-un ritm atît de sigur și rapid față de ceea ce nu este știință. Cunoștințele noastre privind acest mecanism provin ca un avantaj incidental din producția publicației *Science Citation Index*, publicație trimestrială și anuală în care se poate găsi orice lucrare publicată vreodată și se poate afla dacă și cine a citat-o vreodată în bibliografia unor lucrări mai recente din cele peste o mie de reviste importante publicate în lumea întreagă, în toate domeniile. Desigur că marele avantaj al acestui indicator constă în faptul că el este unicul tip de indice care ține pasul cu apariția materialelor noi în loc de a privi în urmă la materialele din ce în ce mai vechi; el este, de asemenea, singurul tip de categorisire pe materii, care nu îngăduie expertului în catalogare, bibliotecarului sau oricărui alt „expert" să se interpună între generatorul de informație și cel care o caută.

Fiecare din aceste indicatoare anuale de citate conține date referitoare la milioane de referințe și sîntem foarte norocoși că putem utiliza rezultatele diferitelor sortări și numărători pentru a determina modul în care lucrările sînt legate între ele prin practica citării reciproce. Se constată că există două variabile principale. Prima este volumul citatelor, numărul mediu al referințelor citate de fiecare lucrare. În cursul întregii activități științifice, media generală este de ordinul de mărime a zece citate pe lucrare. Dacă într-un domeniu există un număr cu mult mai mic, de pildă, unul sau două citate, sau chiar nici unul, se presupune că în acest domeniu lucrările nu se pot baza pe alte lucrări anterioare. Foarte adesea, în revistele tehnologice sau profesionale se pot găsi astfel de articole, care au doar valoarea informativă sau urmăresc un alt scop și nu pe acela de a aduce o contribuție la erudiție. Dacă, pe de altă parte, numărul referințelor este mai mare de zece, de pildă, treizeci sau patruzeci, se poate presupune că este vorba de un alt tip de lucrare, probabil o trecere în revistă a lucrărilor care rezumă toate lucrările anterioare dintr-un anumit domeniu.

A doua variabilă se referă la modul în care referințele existente leagă noile lucrări de cele anterioare. În domeniile care sînt predominant nonștiințifice, orice material publicat vreodată are aproximativ aceeași șansă de a fi citat, indiferent de data publicării. Lucrările din toate timpurile pot fi foarte bune sau foarte slabe, dar amestecul pare a fi aproximativ același pentru toate datele vechi sau moderne. În domeniul științei, situația este cu totul diferită; așa cum a spus cîndva tatăl lui Heisenberg, fiecare lucrare apare cu un termen de garanție de numai trei luni. Lucrările foarte recente sau cele atît de recente încît de-abia au avut

timp să circule sub formă de manuscrise şi care bineînţeles nu au fost încă publicate, sînt deseori mult mai valoroase, mai des citate, decît lucrările care au fost în circulaţie un timp suficient de îndelungat pentru ca seva lor rodnică să fi fost deja epuizată şi pentru ca, în orice caz, conţinutul lor să fie cunoscut de toţi. În domeniile ştiinţifice normale, referinţele la lucrările publicate în ultimii cinci ani reprezintă aproximativ 30%. În disciplinele ştiinţifice cele mai greu accesibile, cum este biologia moleculară şi fizica teoretică a marilor energii, în care oamenii de ştiinţă se urmăresc de aproape, pas cu pas, proporţia poate creşte pînă la 70%. În unele domenii cu particularităţi arhivistice, cum sînt taxonomia zoologică şi botanică, în care sînt preferate arhetipurile mai vechi, proporţia lucrărilor recente poate fi de numai 15%.

Ştiinţa cea mai dificilă se dezvoltă dintr-o peliculă foarte subţire, pe cîtă vreme erudiţia obişnuită se dezvoltă din corpul de cunoştinţe care o alcătuieşte. Dezvoltîndu-se doar din peliculă, proliferarea este legată în mod concentrat de cîteva articole în loc să fie legată în mod difuz de foarte multe. Din nefericire nu dispunem de o formulare matematică convenabilă a proprietăţilor statistice a reţelelor de acest gen, iar diferitele interrelaţii au fost stabilite şovăitor prin ghicit şi conjecturi. În cîteva cazuri în care se poate izola un subiect-eşantion suficient de mic pentru a fi examinat în amănunt, se poate trasa o diagramă completă a acestei structuri. Din aceasta rezultă că ştiinţa are un front de cercetare cu o adîncime de aproximativ patruzeci lucrări; orice lucrare anterioară acestora tinde să fie inclusă în reviste şi apoi în manuale — în măsura în care îşi menţine valabilitatea. Majoritatea lucrărilor există doar în scopul de a permite efectuarea unui pro-

gres mărunt şi de natură curentă; după înfăptuirea acestuia, lucrarea care l-a provocat devine inutilă. Ea nu este menită să fie înmagazinată şi să intre în arhivă, deşi oamenii de ştiinţă au o superstiţie foarte puternică, şi anume că publicarea este oarecum o datorie aproape sacră care permite ca contribuţia respectivă să fie citită în această arhivă perpetuă şi nemuritoare.

Mitologia unei arhive are rădăcini adînci în viaţa ştiinţei şi merită analiza cea mai asiduă. Faptul că omul de ştiinţă realizează un maximum în privinţa proprietăţii intelectuale private prin intermediul publicaţiei celei mai largi constituie un paradox curios. Cheia acestui paradox o constituie publicaţia. Articolele şi revistele există ca un mijloc de publicare rapidă, de preferinţă împreună cu conferirea unei aureole de prestigiu şi aprobare, prin rangul revistei şi discreţia stimaţilor editori. Există puţine dovezi că acest gen de reviste şi articole ar fi citite efectiv ca mijloc de transmitere a informaţiei ştiinţifice astfel imprimate. Aceste cunoştinţe au fost deja transmise frontului de cercetare prin mijloacele particulare şi neformale de circulaţie. Desigur că publicaţia larg difuzată este răsfoită pentru a şti cine şi ce a realizat ceva în săptămîna respectivă şi ea este firește mijlocul prin care absolvenţii universitari pot ajunge pînă la frontul cercetării printr-o lectură asiduă. Nu ar servi la nimic dacă ştiinţa ar putea înainta atît de repede încît oamenii de ştiinţă încă în fază embrionară nu ar putea ajunge din urmă frontul acesta în continuă înaintare.

Se pare că oamenii de ştiinţă au toate motivele să publice, dar nu şi să citească. Este un fapt destul de interesant, că în domeniul tehnologic situaţia este cu totul diferită. Tehnologia ar putea fi eventual definită ca un domeniu în care produsul principal urmărit este

un produs fabricat, un proces, o substanță chimică și nu o lucrare științifică. Deși pot exista și publicații (probabil ca o imitație a științelor recunoscute), este evident că acestea au caracterul unui epifenomen. Tehnologii nu doresc să publice în mod util — nu există o tradiție de a da concurenților un avans util — dar ei doresc foarte mult să citească pentru a vedea dacă o inadvertență nu le deschide o perspectivă de pe urma căreia să realizeze un progres util de însemnătate practică. În cea mai mare parte, o astfel de criză de literatură — care este discutată adeseori — este o construcție artificială a tehnologilor care cred în existența unei arhive utile de informații științifice, la care ei au un acces extrem de anevoios. De fapt, genul de materiale de care ei au nevoie nu este nicidecum publicat. Omul de știință este preocupat de publicarea unui material cu totul diferit.

Revelația cea mai surprinzătoare a unei asemenea analize este că dacă știința și tehnologia sînt definite cu acest gen de termeni, în locul definiției folosite curent, în funcție de intenția urmărită — definiție oarecum șubredă și naivă, — analiza relațiilor ce ar putea exista între diferitele părți ale științei și diferitele părți ale tehnologiei devine o sarcină extrem de complicată. Pînă la punctul în care am putut duce această analiză, știința și tehnologia sînt acumulări separate și aproape independente. Știința mai veche dă naștere științei noi într-un ritm constant prin intermediul unei rețele de literatură, iar în mod analog tehnologia veche dă naștere tehnologiei noi printr-o rețea care constă nu din literatură, ci din *know-how*, care este înregistrat doar parțial în brevete, reclame și cataloage comerciale. Cred că între cele două rețele există ceea ce fizicianul ar numi o „interacțiune

slabă", adică nimic mai mult decît este necesar pentru a menține cele două acumulări în același pas. Numai în mod atipic, în acele incidente traumatice rare care devin o legendă, așa cum sînt tranzistoarele și penicilina, un fragment dintr-o știință nouă determină imediat sau rapid un progres în domeniul tehnologiei. În majoritatea cazurilor, transferul de la una la cealaltă se face prin intermediul oamenilor care migrează dintr-o parte în cealaltă în cursul pregătirii profesionale sau al schimbării ocupației. În orice caz, este cu totul greșit să se creadă că tehnologia ar fi echivalentă cu știința aplicată.

Într-adevăr, în ce privește interacțiunea dintre știință și tehnologie intervine o complicație și mai mare. Este posibil ca unele tehnologii să nu aibă nimic comun cu știința. O parte însemnată din tehnologia mașinilor cu aburi nu a avut absolut nici o legătură cu termodinamica, iar o parte însemnată din activitatea tehnică se desfășoară după aceleași principii ca invenția acelor de siguranță sau a fermoarelor, printr-un inventator la domiciliu sau un mecanic de la magazinul de biciclete, și nu printr-o pregătire „științifică". O parte însemnată din activitatea care poartă denumirea, devenită în prezent tradițională, de „dezvoltare" și chiar de „cercetare aplicativă", constă în activitatea pe care trebuie să o depună fabricantul pentru a verifica și a începe fabricația unui produs nou. Dacă această încercare și începere a producției se bazează pe o pregătire științifică considerabilă, cred că ea ar trebui denumită cercetare, dar dacă ea este foarte apropiată de fabricație, de pildă, o operație pilot, ar fi preferabil să o includem ca o parte a procesului și a cheltuielilor necesare producției.

Problema centrală a științei științelor poate fi lămurită întrucîtva ca urmare a unor cercetări noi în do-

meniul economiei științei care sînt prezentate pentru prima dată în lucrarea de față. Aș putea adăuga că acesta pare a fi un caz grăitor de descoperire simultană; mai mulți oameni de știință, din diferite țări, au avut în mod concomitent aceeași idee și, desigur, că fiecare din noi consideră că el este adevăratul creator și inițiator al acestei noțiuni. Noi toți am descoperit o regularitate destul de interesantă la unele tipuri de date la care nu s-au observat niciodată regularități demne de menționat.

Într-o formă concisă, problema care se pune este de ce Statele Unite, de pildă, produc aproximativ o treime din întregul volum de fizică și chimie și din alte cîteva domenii științifice. De ce contribuția acestei țări este de o treime și nu, de pildă, de aproximativ 6% cît este cota-parte a sa în populația mondială, sau de 90%, sau orice altă proporție? Se mai poate pune întrebarea: de ce Canada și India publică fiecare 2% din volumul mondial de lucrări științifice, deși populația Indiei este de 25 de ori mai mare decît cea a Canadei? Nu numai că numărul publicațiilor acestor țări este aproape egal, dar și societățile și organizațiile lor guvernamentale și profesionale sînt de aproximativ aceeași mărime, structură și complexitate, deși desigur ele sînt diferite, așa cum și țările diferă în ce privește politica și filozofia lor. Știința trebuie să fie universală. Nu există decît o singură știință a fizicii și nu importă dacă ea este abordată de oameni aparținînd unei religii sau alteia, unei politici sau alteia.

Descoperirea noastră constă pur și simplu în faptul că dimensiunea efortului științific depus de fiecare țară este proporțională nu numai cu mărimea populației acestei țări, dar și cu un element ca avuția pe locuitor din această țară. Dacă înmulțim populația cu avuția pe uni-

tatea de populație obținem avuția totală. Ajungem, așadar, la concluzia că în orice moment producția științifică a diferitelor state trebuie să fie proporțională cu produsul național brut (sau cu ceva în acest gen) al fiecărui stat. Nu este cazul să se depună eforturi în vederea perfecționării în continuare a teoriei pentru a vedea care din diferitele definiții ale P.N.B., venitului personal etc., ar trebui folosită — toate sînt echivalente pentru nevoile acestui calcul aproximativ. Pentru a transpune rezultatul în termenii în care a fost pusă întrebarea, S.U.A. produc o treime din volumul științei mondiale pentru că ele dețin aproximativ o treime din bogăția mondială.

În tabelul 7 sînt prezentate o serie din datele existente referitoare la numărul lucrărilor publicate în *Physics Abstracts* și *Chemical Abstracts*, împreună cu cele privind avuția și populația din principalele țări ale globului care au un rol destul de însemnat în publicațiile științifice ce constituie rezerva noastră comună. Se poate observa cu ușurință fără a recurge la aparatul corelațiilor statistice, că la majoritatea țărilor există o concordanță suficient de mare între cota-parte a avuției și aceea a științelor pure. Regatul Unit și Israelul prezintă date disproporționate cu privire la știință, pentru că în aceste țări se realizează în domeniul publicațiilor proporțional mult mai mult decît cota-parte din P.N.B. Contribuția lor la știință este destul de mare sau, ca să privim reversul medaliei, P.N.B.-ul acestor țări este neobișnuit de scăzut pentru state în care știința este la un nivel atît de ridicat. Spania, Mexicul, pe de altă parte, au o contribuție la știință mai mică decît ar trebui în raport cu produsul național brut.

Tabelul 7

Procente din totalul mondial

Țara	*Cota-parte din P.N.B. 1964*	*Procentul lucr.publ. în „Phys. Abs". 1961*	*Procentul lucr.publ. în „Chem. Abs".1965*	*Cota-parte a populației 1964*
S.U.A.	32,8	31,5	28,5	5,9
U.R.S.S.	15,6	15,6	20,7	7,0
R.F. a Germaniei	5,2	6,2	6,3	1,8
R.D.G.	0,8		2,2	0,5
Regatul Unit	4,8	13,6	6,7	1,6
Franța	4,5	6,3	4,5	1,4
Japonia	3,6	7,8	7,3	2,9
Italia	2,6	3,4	2,7	1,5
Canada	2,2	1,1	2,0	0,6
India	2,2	1,8	2,2	14,4
Polonia	1,6	1,5	2,9	0,9
Australia	1,1	0,5	1,2	0,3
România	1,0	0,6	0,9	0,5
Spania	0,9	0,2	0,4	1,0
Suedia	0,9	0,7	0,9	0,2

Din dările de seamă mai amănunțite privitoare la repartiția unor domenii speciale în toate țările de pe glob am ajuns la concluzia că, într-o primă aproximație, toate domeniile științei pure sînt distribuite destul de normal, așa cum am văzut în cazul fizicii și chimiei. Există un fel de echipartiție; dacă o țară deține 1% din întregul volum al fizicii pe plan mondial, atunci probabil că ea deține și 1% din știința matematică pură și 1% din biochimie. Echilibrul între diferitele științe se modifică doar puțin de la o țară la alta, și doar foarte treptat, în cursul timpului, în interiorul unei țări. În ce privește științele aplicate, situa-

ţia apare foarte diferită: state cu un nivel foarte înalt al agriculturii au şi o ştiinţă agrară foarte dezvoltată, iar cele în care agricultura nu există, nu au o ştiinţă agrară dezvoltată. Acelaşi lucru se întîmplă şi în alte domenii ale ştiinţelor aplicate ca industria minieră, construcţiile mecanice, producţia de avioane etc. Ştiinţele aplicate sau activitatea tehnologică a fiecărei naţiuni — indiferent de denumirea ce li se dă — depind de mult mai multe lucruri decît de avuţia ţării respective. Se pare că fiecare naţiune este în totul îndrituită să adopte decizii proprii în vederea repartizării forţei de muncă în domeniile valoroase din punctul său de vedere, dar nu neapărat şi din cel al altor ţări. Şi de data aceasta ştiinţa satisface o constrîngere de ordin internaţional: cine ia parte la joc trebuie să se conformeze modului în care se desfăşoară lucrurile pe plan internaţional, iar în caz contrar tendinţa este a nu participa de loc la acest joc.

Implicaţiile acestei egalităţi, formulate cu titlu experimental, între producţia ştiinţifică şi avuţia economică a statelor sînt considerabile; ele ar putea avea cea mai mare însemnătate în toate problemele de politică ştiinţifică generală. Pe scară mondială, se publică anual aproximativ 700 000 lucrări ştiinţifice, scrise de un număr aproape egal de autori, iar P.N.B. al întregului glob este de aproximativ 2 000 de miliarde dolari. De aceea trebuie ca fiecare ţară să aibă un P.N.B. de trei milioane dolari pentru fiecare lucrare ştiinţifică din ţara respectivă sau aproximativ aceeaşi sumă pentru fiecare autor. Dacă calculăm un salariu mediu de aproximativ 10 000 dolari anual şi un volum egal de cheltuieli generale pentru clădiri şi utilaje, secretari şi clame pentru hîrtie, rezultă că costul oamenilor de ştiinţă se ridică la 0,7% din P.N.B.

al fiecărei țări care participă la știința modernă. O cale alternativă pentru a ajunge la același rezultat este de a considera ca cifră convenită și normală a indicelui costului cercetării suma de aproximativ 20 000 de dolari pentru fiecare lucrare publicată. Trebuie remarcat însă că ambele calcule și rezultatul final de 0,7% din P.N.B. se referă doar la situația actuală. S-ar putea ca modificările în timp să fie foarte rapide. Atît salariile oamenilor de știință cît și P.N.B. (sau venitul personal) al țărilor tind să crească paralel într-un ritm tipic de aproximativ 4% anual. Cantitatea de muncă științifică exprimată în numărul de lucrări și de oameni de știință crește mult mai repede, dublîndu-se, la fiecare interval de zece ani. Rezultă, așadar, că numai pentru a menține situația actuală, fiecare țară trebuie să dubleze procentul din P.N.B. al cheltuielilor pentru știință pură, în fiecare deceniu. Deși în prezent[1] cifra este de 0,7%, în 1956 ea era doar de 0,3%, în 1976 va fi de 1,5%, iar în 2006 va fi de 12%, presupunînd că se vor menține condiții similare.

Desigur că astfel de condiții nu pot fi valabile la infinit și, într-adevăr, ele încep să se modifice destul de rapid, deoarece în țările cele mai dezvoltate, procentul de 0,7% pe care l-am calculat este doar o mică fracțiune — aproximativ o cincime sau un sfert din cheltuielile totale pentru ceea ce este denumit, tradițional, C & D, cercetare și dezvoltare. Deoarece am calculat deja procentul de 0,7% (cu eventuale variații între 0,35 și 1,4%), care reprezintă suma necesară pentru finanțarea științelor pure (și eventual a oricărei „tehnologii pure"), rezultă că celelalte două treimi sau

[1] După efectuarea acestui calcul, acest procent s-a urcat în 1969/70 la aproximativ 1%.

trei pătrimi ale cheltuielilor naţionale trebuie să fie consacrate achiziţiei de tehnologie, probabil pentru achiziţia acelui gen de tehnologie care poate fi considerată „cercetare", cu întreaga aureolă a ştiinţei şi nu a fabricaţiei simple. Dacă am cheltui 12% din P.N.B. pentru ştiinţele pure, pentru a păstra acelaşi echilibru ar trebui să cheltuim în total jumătate sau două treimi din P.N.B. pentru cercetare şi dezvoltare — o sumă de neconceput.

În momentul de faţă, cheltuielile totale ale S.U.A. pentru C & D sînt de ordinul a 3,5% din P.N.B., iar cu zece ani în urmă ele se ridicau la 1,4% din P.N.B. Aşadar, cifrele sînt de aproximativ cinci ori mai mari faţă de calculele noastre pentru componenta pură a cunoştinţelor ştiinţifice universale, adică industria producătoare de lucrări. Există motive temeinice pentru care numărul maxim de oameni de ştiinţă folosiţi în afara industriei cunoaşterii trebuie să fie, cel mult, de trei sau patru ori mai mare faţă de numărul celor care au fost enumeraţi printre oamenii de ştiinţă pură. În mod tradiţional, în domeniul ştiinţei, doar aproximativ 20% din deţinătorii unui titlu de doctor sînt reprofilaţi pentru a deveni profesori la colegii. În ştiinţele umaniste, cifra convenţională este de aproape 80 sau 90%, astfel încît în această ramură producţia ce prisoseşte este foarte limitată. Principalul serviciu pe care umaniştii îl aduc comunităţii este educarea tineretului pînă la obţinerea diplomei; la nivelul celor care au obţinut o diplomă, activitatea principală a acestei categorii de oameni de ştiinţă este de a reproduce speţa lor, învăţîndu-i pe studenţi cum să devină profesori pentru a instrui un număr mai mare de studenţi, într-un ciclu fără sfîrşit. În ştiinţe, excedentul depăşeşte nevoile reproducerii cu un factor egal cu patru.

O metodă aproximativă care explică aceasta constă în utilizarea ratei cunoscute a creşterii exponenţiale pentru a determina nevoile de autoreproducere. Pentru fiecare 100 de oameni de ştiinţă activi este necesar să se formeze în fiecare an aproximativ alţi 7 oameni de ştiinţă; presupunînd că acesta este un proces care durează patru ani, vor exista aproximativ 30 de studenţi în fiecare moment, iar ţinînd seamă de media pe întreaga ţară, este nevoie de cel mult 20 de profesori pentru instruirea lor. Rămîn deci aproximativ 80 de oameni de ştiinţă activi care pot să nu fie profesori; după cum era de aşteptat, proporţia este de 4 la 1.

Desigur că această proporţie este valabilă doar dacă oamenii de ştiinţă activi funcţionează în acelaşi gen de domeniu ştiinţific, indiferent dacă sînt profesori sau servesc comunitatea procurîndu-i alte servicii sau produse. Aşadar, este posibil să se folosească în industriile bazate pe fizică un efectiv aproximativ de patru ori mai mare decît efectivul personalului didactic din ramura fizicii, iar în chimie o proporţie asemănătoare etc. Nu se poate lua pur şi simplu hotărîrea de a proceda la o largă utilizare a forţei de muncă disponibile, de pildă în domeniul cercetărilor agronomice, deoarece efectivul disponibil în domeniile înrudite ale biologiei este doar de patru ori mai mare decît cel din ştiinţa pură iar volumul cercetărilor biologice, ca şi cel din celelalte ştiinţe, este fix, se află şi în echilibru cu fiecare din celelalte cercetări, iar în totalitatea lor cercetările sînt în echilibru cu avuţia ţării.

S-ar părea că în ţările mai mici şi mai puţin dezvoltate, cheltuielile curente totale în domeniul ştiinţei pot reprezenta proporţia calculată de minimum 1%. Orice cheltuieli peste acest procent, pînă la o depăşire posibilă cu un factor egal cu 4, presupun sprijinul din par-

tea tehnologiilor asociate. Desigur că aceasta este o problemă vitală, dar asupra căreia nu s-au făcut nici cel puțin speculații pentru a determina dacă avuția națiunilor este rezultatul atenției acordate acestei evoluții în domeniul tehnologiei, sau dacă volumul cheltuielilor suportate se datorează avuției. În orice caz, în prezent știm că există tendința unei corelații urcate astfel încît este rațional să presupunem, ca o problemă de politică, că fiecare țară ar trebui să cheltuiască aproximativ 0,7% din P.N.B. pentru a-i subvenționa pe cei a căror profesie este de a activa în industria cunoașterii și de a publica lucrări științifice. Țările în cauză ar putea cheltui apoi pînă la de patru ori mai mult în orice sector ar dori, în care forța de muncă calificată poate fi folosită în procesele tehnologice cerute de nevoile specifice și de industria țării respective.

Indice

Aaboe, Asger 17
Academia del Cimento 91
Academia Națională de Științe (National Academy of Sciences) 72
Acceleratoare 25, 40, 49 n., 51, 52
Africa 136
Allen, Ernest M. 128 n.
American Men of Science (Oameni de știință americani) 60—61, 81, 180
American Philosophical Society 115
Aparatura științei 22, 25, 38, 51, 119, 120, 123
Arhimede 38, 153
Articole (lucrări) științifice 30, 37, 39, 58, 61—87, 90—93, 97—124, 129, 130, 174, 186, 192
Atherton, Pauline 162 n.
Autori multipli 120—124, 161

Babbage, Charles 36
Badash, Lawrence 120 n.
Barber, Bernard 92, 95, 143 n.
Beethoven, Ludvig van 99, 182
Bernal, John 5, 174
Bibliografia societății Regale referitoare la literatură științifică 66
Biblioteca Centrală Științifică (Londra) 106
Biblioteca Congresului (S.U.A.) 87 n.
Biblioteca de Științe din Londra 106
Blewett, J. P. 17, 49 n.
Bourbaki, Nicolas 120 n.
Bowditch, Nathaniel 36
Boyle, Robert 38, 145 n., 158
Brahe, Tycho 24, 175

Cairo 50 n.
Cambridge, concursuri matematice 76 n.
Canada 164, 170, 189, 191
Cape Canaveral (actualmente, Cape Kennedy) 24, 40
Caroll, Lewis 143
Catalogul Societății Regale de Scrieri științifice 159
Cattell, J. McKeen 60, 61
Cayley, Arthur 74
Cercetarea asupra cercetării, (legile) 176, 181
Cheltuieli pentru știință 22, 38—41, 53, 62, 87, 126—128, 130, 138, 140—142, 146, 147, 158, 171, 193, 194
Chemical Abstracts 67—69, 72, 120, 121, 129, 159, 162, 190
Chimice, elemente 51, 52
China 135, 136

Cibernetica 47, 129
Cockroft, Sir John 120
Colegii invizibile 118, 124, 140, 141, 147, 151
Copernic, Nicolas 99
Cristalizare 84, 85, 107, 132, 137, 139
Curie 120, 145 n.
Current Cantents 165

Dactiloscopie 56
Darwin, Erasmus 56, 57
Davy, Sir Humphrey 36, 50
Decelerare 43—53, 128, 138
Dedijer, Stevan 140 n.
Dennis, Wayne 65, 73
Descoperiri multiple (simultane) 94—100, 105. 161, 189
Deutsch, Karl W. 99 n.
Distribuţia tip Poisson (vezi Poisson, distribuţia)
Dublare, perioada de 27—32, 37, 42, 44, 50, 60—62, 72, 104, 109, 111, 126, 127, 129, 135, 136, 160, 176
Dupree, A. Hunter 141 n.

Econometrie 82
Eddington şi Jeans 158
Eiduson, Bernice 145 n.
Einstein, Albert 22, 64
Encyclopaedia Britanica 66
English Men of Science 57—59
Eponimică, nemurirea 38, 112
Escaladare 47, 49, 50—54
Exponenţială, creştere (vezi şi decelerare) 26—30, 33—47, 58, 62—64, 82—84, 86, 90, 102, 107, 108, 112 n., 126, 129, 133—138, 160, 160, 176, 177

Fechner, Legea lui 75, 77, 83, 128
Fermi, Enrico 49, 99
Forţa de muncă feminină 81
Forţa de muncă în ştiinţă 12, 30, 32, 38, 39, 41, 53, 54, 61, 81, 83, 107, 114, 122—124, 128, 131, 133, 136, 139, 140, 152, 155, 176, 177
Franklin, Benjamin 37
Franţa 129, 130, 170, 191
Fulbright, 119
Fussler, Herman 110

Galileu 38, 98, 174
Galton, Francis 56—62, 76 n., 81, 95, 145
Garfield, E. 154
Gauss, Distribuţia tip 70, 75, 181
Genetica 56—58
Geniu ereditar 57—59
Gilpin, Robert 151
Goffard, S. J. 110 n.
Goudsmit, S. A. 120 n.
Graubard, S. E. 22 n.
Gross, E. M. 112
Gross, P. L. K. 112

Haldane 175
Halmos, Paul 120 n.
Haos 13
Harmon, Lindsay 78, 79
Heisenberg 184
Hipocrat, Jurămîntul lui 150
Holmes şi Watson 120
Holton, Gerald 22 n., 47
Hooke, Robert 98
Huygens, Christian 145 n.
Hven 24

Indexul de citate ştiinţifice *(Science citation index)* 183
India 24, 136, 164, 170, 189, 191
Institute naţionale de sănătate 127
International Directory of Research and Development Scientists 165
International Index 171
Israel 158, 165, 170, 190
Italia 170, 191

Jai Singh 24
Japonia 118, 130—135, 170, 191
Jeans şi Eddington 158
Johnson 128
Journal des Sçavans 37

Keenan, Stella 162 n.
Kelvin, Lord 145
Kepler, Johannes 98, 175, 176
Klein, David 17
Kowarski, L. 120 n.
Kronick, David 37 n.
Kuhn, Thomas 95

Laboratoarele Brookhaven 11, 40, 49 n., 119
Lasky, S.G. 48, 49 n.
Lavoisier, Antoine 145
Liebig, Justus von 123
Lindsey, Dale R. 128 n.
Livingston, M.S. 49 n.
Logistică, Creşterea 42—53, 58, 60, 61, 82, 85, 88, 115, 129, 138, 150
Lotka, Legea lui 68—73

Mackinnon, Donald W. 143
Manhattan, Proiectul 24, 40
Mathematical Reviews 122 n.
Maxwell, James Clerk 37, 145 n., 146
Meiji, Era 132
Mendel, Gregor 57, 114
Merton, Robert 94, 95, 157, 183
Michelangelo 99
Milton 128
Motivaţia oamenilor de ştiinţă 38, 113 n., 124, 128, 139—147

Newton, Sir Isaac 22, 37, 92, 145 n., 176, 180
Nobel. Premiul 63, 83 n.
Nonconformism („mavericity") 143, 144, 147

Olanda 25, 164
Oppenheimer 38
Oraşe, creşterea lor 85, 86, 107, 129

Pareto, Legea lui 75, 77, 82, 83, 85, 88, 107, 114, 122, 130, 181
Pătratul invers, Legea 67, 68, 72, 73
Pearson, Karl 56 n.
Petty, Sir William 56
Philosophical Transactions of the Royal Society 37, 68—70, 72, 91, 92
Physical Review Letters 113, 119
Physics Abstracts 159, 162, 190
Planck, Max 38, 157, 183
Poisson, Distribuţia 70, 96, 162

Price, Derek J. de Solla 29 n., 30, 40, 154, 162
Prioritate 94—100, 103, 104, 113, 183
Profesiuni paraştiinţifice 173

Războaie, efectul lor asupra ştiinţei 39, 40, 89, 111, 115, 116, 123, 128, 130, 134
Referinţe 93, 102, 110—113, 184, 185
Regatul Unit (Anglia) 59, 60, 131, 132, 139, 149, 169, 170, 190, 191
Reif, F. 98
Repertorium Commentationum a Societatibus Litterariis Editorum 159
Repertoriul internaţional al oamenilor de ştiinţă din domeniul Cercetării şi Dezvoltării (Vezi *International Directory* etc.)
Reuss, J. D. 159
Revista de matematică (vezi *Mathematical Reviews)*
Reviste de rezumate *(Abstract Journals)* 30, 31, 40, 103 n.
Reviste ştiinţifice 29, 30, 36, 39, 53, 61—65, 68, 78, 87, 91, 92, 99, 101, 103—111, 113—115, 117, 122, 136 n., 141
Rezumate de chimie (vezi *Chemical Abstracts*)
Rich, Barnaby 91
Rieman, F. 66 n.
Rochester, Conferinţa 116
Roe, Anne 145 n.
România 166, 167, 170, 191
Royal Society (Societatea Regală) 37, 59, 67—69, 91, 92, 115, 118,
Royal Society Bibliography of Scientific Literature 1800—1900, 66, 159
Rumford, Contele 145 n.
Rutherford, Lord 123

Saggi, 91 n.
Salk, Vaccinul lui 146
Samarkand 24
Sarton, George 173
Saturaţie 43—54, 58, 82—83, 130, 136, 148, 150
Science Citation Index 138
Scotland Yard 56
Shizume, Eri Yagi 132 n.
Shockley, William 76 n.
Simon, Herbert A. 67 n.
Societatea de Eugenie 56
Societatea Regală (vezi Royal Society)
Societăţi ştiinţifice 29, 63, 91
Sputnik 40, 129
Statele Unite 30, 41, 60, 81 86—88, 122 n., 130, 135, 139, 148, 150, 156, 164, 166, 169, 170, 174, 189, 190, 191, 194
Ştiinţă a ştiinţelor (ştiinţă despre ştiinţă) 8, 154, 174
Supradezvoltate, Ţări 153, 161

Tehnologia şi publicaţiile ştiinţifice 186, 187
Termodinamica 12, 13

Testul de Clasificare Generală în Armată (A. G. C. T.) 62, 76—80
Thompson, D'Arcy 44 n.
Tranzițiile (trecerile) lui Venus 25
Tulpina de fasole, creșterea 44

Ulugh Beg 24
Universități, înființate 49, 50
Urmărirea („vînătoarea") fenomen cibernetic 46, 49, 53
Urquhart, D. Y. 106
U.R.S.S. 81, 130, 135, 136, 141, 148, 169, 170, 191
Utz, W. R. 122 n.
Visher, S. S. 60 n.

Walton, Ernest 120
Weber, Legea lui 75
Weinberg, Alvin 23 n.
Weiss, Paul 110 n.
Westbrook, J. H. 100 n.
Weston, R. E. 123
Windle, C. D. 110 n.

Zipf, G. K. 17, 77, 86 n., 86, 181
Zuckerman, Comitetul 131

Cuprinsul

Cuvînt înainte 5

Conferinţele „George U. Pegram" 9

Prefaţă 11

Prefaţă la ediţia românească 15

Mulţumiri 17

(1) PROLOG LA O ŞTIINŢĂ A ŞTIINŢEI 21

(2) REVENIND LA GALTON 56

(3) COLEGII INVIZIBILE ŞI „NAVETISTUL" ŞTIINŢIFIC OPULENT . . 90

(4) STRATEGIA POLITICĂ PENTRU OAMENII ŞTIINŢEI MARI. 126

(5) MĂSURA DIMENSIUNII ŞTIINŢEI 153

(6) CERCETARE ASUPRA CERCETĂRII 173

Indice 197

Redactor: Doina Bădilă
Tehnoredactor: Gheorghe Popovici

Coli de tipar: 12,75.
Indici pentru clasificarea zecimală:
biblioteci mari: 001 : 8, biblioteci mici: 001

Întreprinderea Poligrafică Cluj, str. Brassai nr. 5—7,
Republica Socialistă România. Comanda nr. 424/1971.

E R A T A

La pag.	Rîndul	În loc de	Se va citi
117	3	tru comunicări zilnice. Există un aparat elaborat pen-	tru expedierea, nu numai de reimprimări de publicații

Știință mică, știință mare

Lei 5,–